无线电

2011年合订本

下

1955年创刊 www.radio.com.cn 邮发代号：2-75 国外代号：M106

《无线电》编辑部 编

本书附赠光盘 精选电子套件演示视频
单片机源程序、印制电路板图等丰富资料

2011年第7期～第12期

创意制作 > 玩转单片机 > 实用电路 > 音频应用 > 特别策划 > 我的实验室 > 广播爱好者 > 维修帮手 > 初学者园地

德生DSP全波段立体声收音机系列精品！

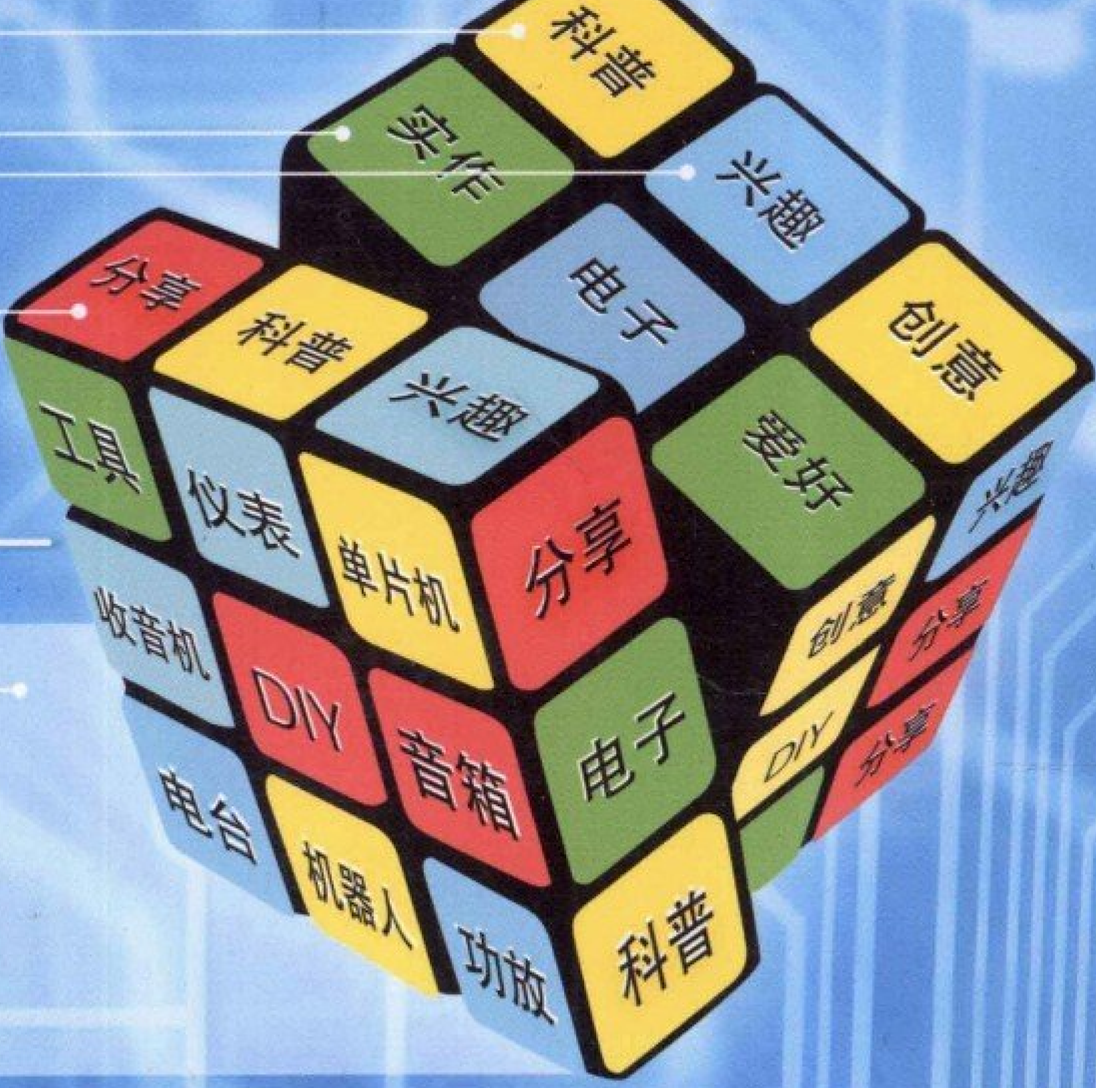
PL-390 PL-300ET PL-360 PL-380 PL-310ET PL-505 PL-606

德生收音机论坛：http://bbs.tecsun.com.cn 德生淘宝店：http://best-radio.taobao.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电
Radio.com.cn

我们告诉电子爱好者： 学什么、用什么、玩什么、怎么玩……



— Since 1955 —

重点内容

精彩制作
我的实验室
创意项目
互动问答
初学者园地

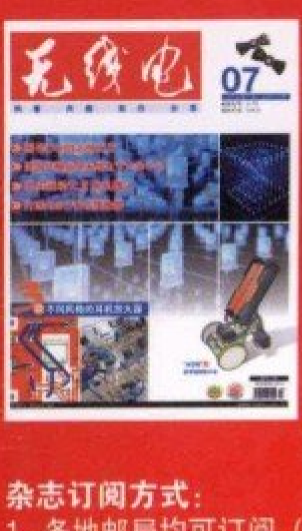
一本与现代电子技术共成长的科普杂志

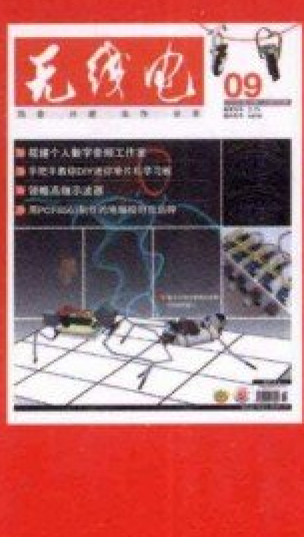
一本倡导动手实践与互动分享的优秀杂志

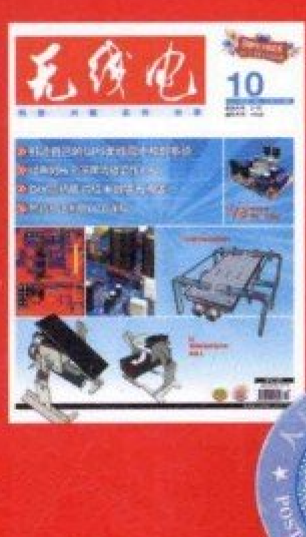
一本让几代中国电子人才受益的权威杂志

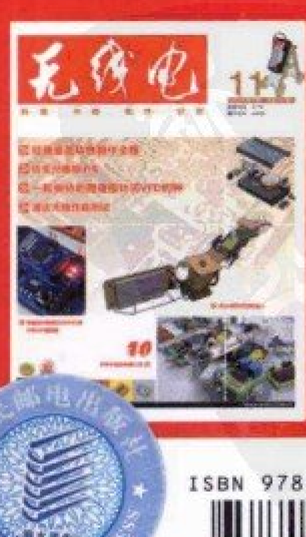
一本关注电子爱好者和业内人士的兴趣杂志

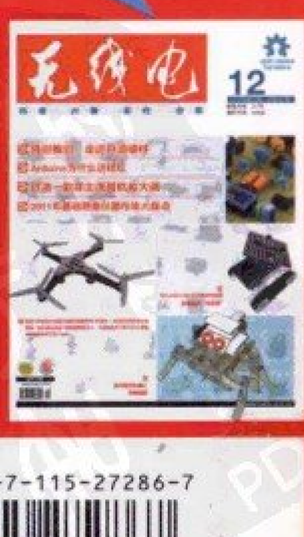
欢迎订阅！











杂志订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅（收订热线：11185）
2. 汇款到杂志社邮购
   汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街14号A座，收款人：《无线电》杂志，邮编：100061
   （请务必注明您的姓名、地址、邮编、电话及购买内容）
3. 网上购买：（1）邮政网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）
   （2）淘宝代理店：boqu.taobao.com（主营杂志、图书及杂志社的周边产品）
   （3）卓越网：www.amazon.com.cn（登陆卓越网→搜索无线电杂志→购买）
4. 到社直接订阅。咨询电话：01067134361或67161471（工作时间：周一至周五，早8：00－17：00）
4. 电话订阅：拨打116114，按“0”键转人工服务进行订阅，上门服务（仅限北京）

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

ISBN 978-7-115-27286-7

9 787115 272867 >

ISBN 978-7-115-27286-7

定价：48.00 元（附光盘）

无线电

2011 年合订本（下）

《无线电》编辑部　编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

PDG

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》2011年合订本. 下 / 《无线电》编辑部编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2012.2
ISBN 978-7-115-27286-7

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术—2011—丛刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第264869号

内 容 提 要

《无线电》2011 年合订本（下）囊括了《无线电》杂志 2011 年第 7～12 期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了精选的电子套件演示视频，如 PVC-Robot 系列仿生机器人演示视频、CUBE 光立方演示视频等，还收录了与文章相关的单片机源程序、印制电路板等资料。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》2011 年合订本（下）

◆ 编　　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　周　明
特约编辑　邓　晨

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：35.75
字数：1 132 千字　　2012 年 2 月第 1 版
印数：1 – 9 000 册　　2012 年 2 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-27286-7

定价：48.00 元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号

无线电

CONTENTS

2011年合订本（下）

目 录

精彩制作

创意制作

制作CUBE8光立方 ◎杜洋（001）

自平衡双轮小车 ◎Plenilune（007）

基于74HC240的单向运动比目鱼机器人 ◎臧海波（013）

千雕万琢的机器花能大战僵尸吗？☆ ◎机器时代（017）

机器人总动员 ◎金今（020）

PVC-Robot 15号 ◎Plenilune（032）

基于AVR单片机的6足机器昆虫☆ ◎Plenilune（040）

基于Arduino开源平台的Wi-Fi视频监控小车☆◎庄明波（044）

吊绳攀爬机器人 ◎Plenilune（047）

基于不同控制理念的两只爬虫机器人 ◎臧海波（053）

电子发光线小制作 ◎曾学明 译（059）

简易空气桨动力车制作 ◎张晓宇（065）

DIY超简单的双足行走机器人 ◎Plenilune（067）

6足仿生昆虫机器人 ◎臧海波（074）

仿生3电机蛇形机器人 ◎臧海波（079）

仿生尺蠖型小车 ◎Plenilune（084）

“冰封”我的小制作 ◎陈晟洋（088）

机器螃蟹 ◎Plenilune（090）

四轴飞行器DIY ◎徐江（097）

会移动的“向日葵” ◎王飞剑（102）

玩转单片机

DIY表情矩阵☆ ◎小乐（105）

ARM7音乐播放器☆ ◎张彬杰（108）

AVR点睛之颜色识别篇☆ ◎宋宏嘉 王静（113）

旋转POV显示屏设计与制作☆ ◎王平（118）

摇臂式POV设计与制作☆ ◎王平（123）

3D旋转显示装置☆ ◎李光（125）

手把手教你DIY迷你单片机学习板☆ ◎石学军（131）

自制三体船模☆ ◎陈天裕（135）

用PCF8563制作的电脑校时日历钟☆ ◎卫小鲁（138）

防追尾！DIY简易跟随小车☆ ◎蒋瑞挺（142）

8引脚AVR芯片熔丝恢复器☆ ◎孙德庆（144）

Arduino-Lite——高效轻量级AVR库☆ ◎RoboPeak（146）

制作8核微控制器Propeller开发板 ◎刘毅男（151）

语音智能小车的设计制作☆ ◎赖程鹏 梁光胜（155）

智能绘图小车☆ ◎张皓（157）

网络门禁控制系统 ◎海特（Hector） 许腾（159）

RoboPeak USB Connector免驱动的USB 接口

AVR/51 ISP编程器☆ ◎RoboPeak（161）

带单片机时钟的小夜灯☆ ◎周兴华（163）

GPS记录器DIY☆ ◎陈飞（165）

基于Propeller开发板的手势识别系统设计☆ ◎刘毅男（170）

走迷宫小车的原理与设计☆ ◎蒋瑞挺（173）

2011年合订本（下）目录

CONTENTS

超级个性化万年历☆ ◎王保国（177）

Arduino为什么这么红？ ◎胡泊（179）

智能对线仪 ◎阚海辉（182）

CUBE8光立方的图形DIY手册 ◎杜洋（184）

实用电路

QS18-12辉光管电子时钟的设计☆ ◎严泽远（189）

蝴蝶结变声器☆ ◎孙德庆（193）

家用便捷黄曲霉菌监测器 ◎王丕立（195）

做把智能直尺☆ ◎孙德庆（197）

蓝牙无线温湿度监测系统的制作☆ ◎赖程鹏（200）

基于USB接口的PC性能监视器☆ ◎刘亮（204）

单荧光数码管钟制作过程分享 ◎张峥（BG8SF）（206）

试制无线供电办公桌面系统 ◎古人（208）

选择电设，选择一种生活——我们4天3夜的参赛经历 ◎朱棣（212）

业余条件下自制高频谐振线圈 ◎时刻（BA6BF）（214）

制作一款独特的圆盘指针式VFD时钟☆ ◎段卫军（215）

DIY 3W LED灯 ◎尚时尚（221）

旧灯改造两挡调光的LED阅读灯 ◎尚时尚（224）

动感电子蜡烛DIY ◎尚时尚（227）

T12白光数显控制器DIY经验分享 ◎陈建皓（229）

音频应用

我的LM3886功放DIY手记 ◎江俊辉（236）

高品质胆机电源变压器的设计与制作（上）◎松贵年（239）

玩转老功放之中高端产品篇（下） ◎梓门（243）

一款用ON管子制作的高性能MT-150功放 ◎卞镜秋（248）

小巧的D类功放 ◎牛歌（251）

高品质胆机电源变压器的设计与制作（下）◎松贵年（255）

813的构造及音频应用电路 ◎松贵年（259）

FU-32胆机制作 ◎林召春（263）

试听派扬HiFi-4书架式音箱 ◎独幽（265）

一款经典的Hi-Fi家用功放套件A-80 ◎卢伟（268）

“B2”小耳放的设计 ◎dingle（272）

经典制作全程播放——桌面功放的设计与制作 ◎张之航（274）

制作一款体积小巧的功放 ◎梁文志（282）

用6C16制作靓声耳机放大器 ◎林召春（284）

小巧玲珑的胆石放大器 ◎张全定（286）

玩“板”偶得 ◎林强（289）

打造一款非主流耳机放大器——E2 ◎杨宇洸（290）

纸盆扬声器修复纪实 ◎倪文贤（293）

“百听不厌”的6146单端胆机制作 ◎陈建军（296）

用PCM2702制作高性能USB声卡 ◎梁文志（299）

特别策划

2001年美国代顿业余无线电节大会小记 ◎陈平（BA1HAM）（302）

耳放制作专题

3款不同风格的耳机放大器 ◎臧海波（308）

集成电路耳放制作方案——UCP2耳放 ◎臧海波（309）

晶体管耳放制作方案——8管OTL耳放 ◎臧海波（312）

电子管耳放制作方案——6N1耳放 ◎臧海波（314）

亲历美国2011湾区Maker Faire ◎樊翔（318）

搭建个人数字音频工作室 ◎臧海波（321）

全国大学生电子设计竞赛专题

光伏并网发电模拟装置 ◎杜灿鸿（329）

2011年合订本（下）目录

CONTENTS

无线环境监测模拟装置 ◎宋宏嘉 王静轩 郝计军（334）

NUEDC的过去式 ◎王丰硕（337）

瑞萨电子竞赛专访 ◎于涛（339）

瑞萨杯2011全国大学生电子设计竞赛成功举办 ◎本刊记者（341）

奋战2011全国大学生电子设计竞赛 ◎赖程鹏（342）

亲历上海国际无线电展创意电子嘉年华 ◎张峥（BG8SF）（344）

“虫版47”耳放DIY大攻略 ◎林伟淏（348）

打造自己的GPS无线同步校时系统 ◎段卫军（358）

GPS无线同步校时母钟系统设计思路 ◎段卫军（359）

简易版GPS无线同步校时母钟的制作☆ ◎段卫军（363）

制作带显示屏的GPS无线同步校时母钟☆ ◎段卫军（367）

10种不可不知的电装工艺 ◎臧海波（373）

走近开源硬件 ◎肖文鹏（380）

开源硬件与新山寨 ◎李大维（381）

那些开源硬件引发的创意 ◎Eric Pan（383）

如何利用创客空间帮助我们学习 ◎顾学雍（386）

开源机器 ◎张浩（388）

我的实验室

小型电子工作室仪器选购

频谱分析仪的选择 ◎杨法（BD4AAF）（391）

晒晒我的实验室/工作室

工作室是用来干什么的 ◎王东平（BA1AAX）（395）

晒晒我的实验室/工作室

工作室的制乐之道 ◎杜洋（398）

RIGOL DS6104数字示波器特性综览 （402）

RIGOL DS6104数字示波器试用手记 ◎徐江伟（403）

DS6104数字示波器试用点评 ◎李旭之 王媛媛（407）

领略高端示波器 ◎杨法（BD4AAF）（408）

晒晒我的实验室/工作室

我在实验室中成长 ◎陈怡斐（412）

自制手持高精度六位半数字万用表 ◎孟欣（415）

漫谈天线性能测试 ◎杨法（422）

晒晒我的实验室/工作室

分享与交流——制作的乐趣所在 ◎温正伟（426）

年末测量仪器市场大盘点 ◎杨法（428）

制作之道

能者自答 ◎杜洋（433）

漫话业余电子爱好者的变化 ◎唐道济（436）

广播好爱者

上海广播器材厂的收官力作——上海144型电子管收音机 ◎徐蜀 陈汉燕（438）

凯歌593-2型电子管超外差收音机修理手记 ◎张全定（441）

20世纪50年代的大众收音机——“小北京” ◎陈汉燕 徐蜀（443）

一款精益求精的收音机——BeoMaster 1400K ◎陈祖德（446）

歌乐车载收音机加装MP3功能 ◎吴金贤（448）

一台标有制作者的矿石收音机 ◎陈汉燕 徐蜀（452）

民国时期收音机状况之一瞥（一） ◎陈汉燕 徐蜀（454）

民国时期收音机状况之一瞥（二） ◎陈汉燕 徐蜀（458）

维修帮手

DCS-3926S交换机重生记 ◎董庆源（462）

CONTENTS

英国Soundcraft调音台的维修小记 ◎张国武（465）

自己动手维修电风扇 ◎王绍华（466）

巧修投影仪遥控器 ◎崔华卿（468）

问与答（469）

修理耳机和话筒的小助手 ◎崔华卿（470）

投影机灯泡的更换方法 ◎张建伟（472）

问与答（473）

自己动手检修豆浆机 ◎易章波（474）

巧修电脑显卡 ◎陈天宇（476）

问与答（478）

索尼摄录一体机偏色故障的维修 ◎李惠平 李保平（479）

自己动手维修多功能电开水器 ◎王绍华（481）

家用电子血压计的检修 ◎张伟军 阮芳（483）

问与答（486）

松下NN-5243型微波炉的检修 ◎王绍华（487）

台式计算机不开机故障巧判断 ◎刘福胜（489）

新科牌干手机的检修 ◎余俊芳（490）

问与答（492）

澳柯玛电动车充电器在路检修技巧 ◎梁明义（493）

家用全自动洗碗机原理与维修 ◎王绍华（494）

豆芽机的维修 ◎屠宗芳（496）

问与答（498）

初学者园地

常用元器件的识别与使用（24）

“里应外合”的接插件 ◎张晓东（499）

天籁之音人类美好的追求（3） ◎姚宗栋（503）

短波传播的奥秘

传播的细节 ◎刘璞（BA7JS）编译（505）

常用元器件的识别与使用（25）

稳定性极高的石英晶振 ◎张晓东（508）

石英晶振使用常识 ◎张爱迪（511）

认识高频振荡器 ◎赵辉（BD6RA）译（514）

常用射频同轴连接器 ◎刘辉（517）

天籁之音人类美好的追求（4） ◎姚宗栋（521）

常用元器件的识别与使用（26）

小巧可靠的陶瓷滤波器 ◎张晓东（525）

AVR Studio 4入门简介 ◎董庆源（529）

常用元器件的识别与使用（27）

接线简便的恒流二极管 ◎张晓东（533）

热转印法制作PCB详解（1）（537）

如何用热转印法制作单面板PCB ◎王平（539）

新书摘选 箱体形状与驻波

——摘自《扬声器系统设计手册（第7版）》

◎王经源（542）

热转印法制作PCB详解（2）

双面覆铜板PCB设计与制作 ◎王平（543）

写给《爱上单片机（第2版）》 ◎杜洋（549）

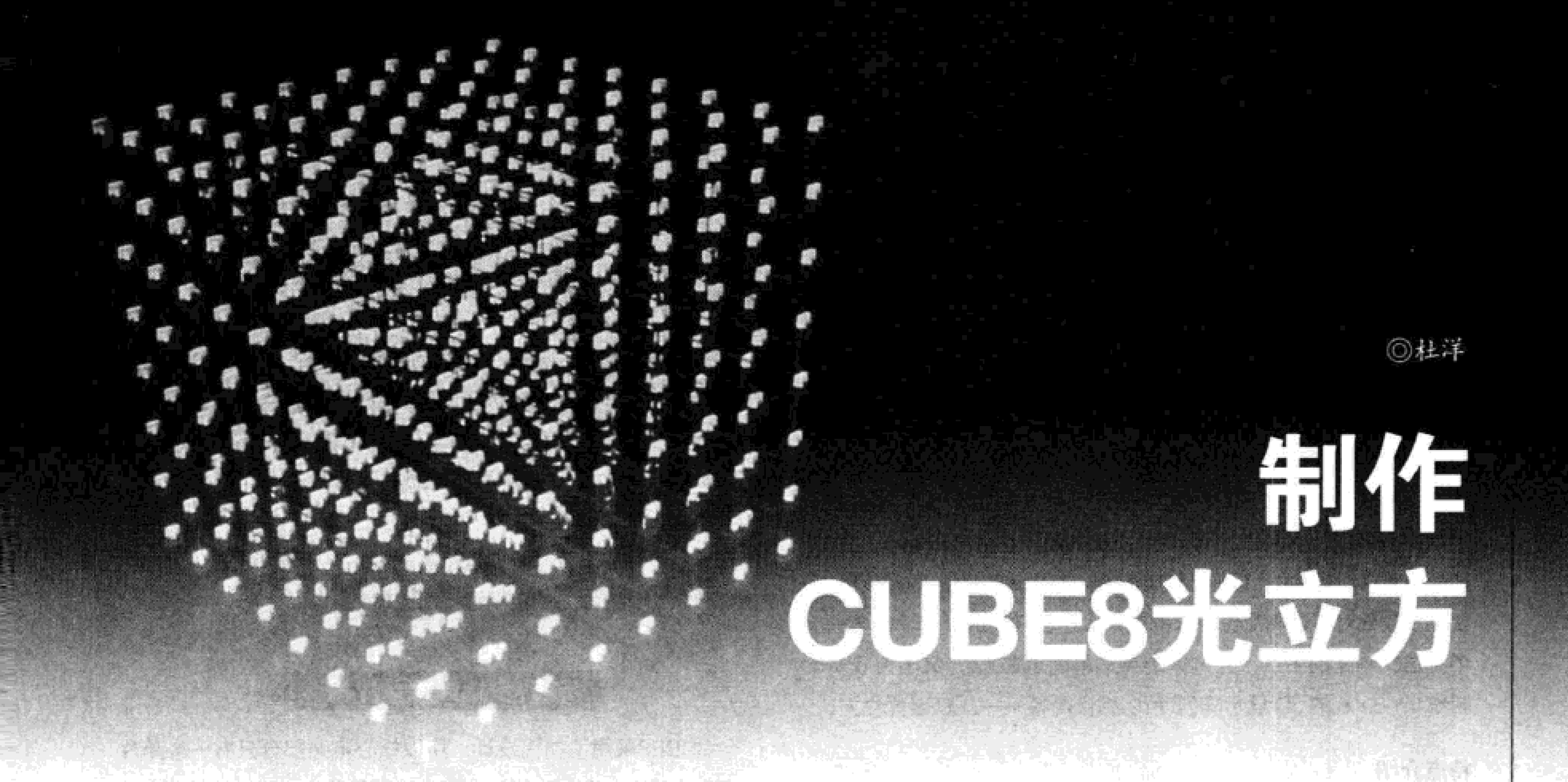
不用电的悬浮陀螺 ◎王超（551）

“请随手关门”提醒器 ◎于一鸣 张爱迪（554）

常用元器件的识别与使用（28）

本领不凡的压敏电阻器 ◎张晓东（559）

注：加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。



◎杜洋

制作CUBE8光立方

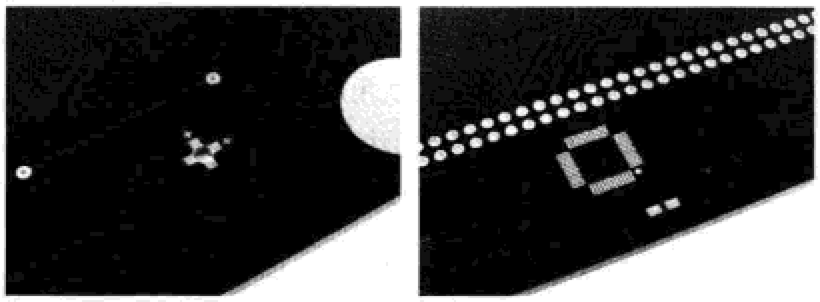
各位爱好者朋友，大家好。好久不见了，最近还好吗？有什么最新的电子制作吗？在开发中又学到了什么经验呢？如果大家每天都有时间玩电子制作、每天都有新的收获，那还真是一件让人羡慕的事情呀。这几个月来，我也一直没有闲着，除了在忙我的新书《爱上单片机（第2版）》的出版之事外，也没有忘记我的电子制作。与以往不同的是，这次我制作的是一个大家伙，不是说它的体积大，而是这个作品的开发过程比较复杂。不论是硬件电路还是软件开发，都让工作室团队倾注全力。在这里，我要感谢一下时大叔，是他和我默契的配合，才让CUBE8光立方得以完美问世。

何为CUBE8光立方

没错，CUBE8光立方，与北京奥运会无关。如本文题图所示，CUBE8是一个长、宽、高由8×8×8个LED灯组成的真实3D立方体显示器。其最大的特点，就是带给你未来3D技术的科技体验。

光立方并非我的首创，在网上早有光立方的视频。许多电子爱好者，看过这些视频之后，都会被其超酷的3D显示效果所震撼，我就是其中之一，于是我也想仿制一个玩玩。在网上搜索了大量相关资料后，我却发现，网上各种版本光立方的制作方法都很复杂，不仅需要很强的动手能力来组装512个排列整齐的LED和金属支架，还需要有足够的耐心设计一大堆单片机和驱动芯片，最后还要为硬件成品设计显示程序，好让光立方动起来。这样看来，不是高级焊接技师兼资深单片机工程师的“小菜”们，想制作出一个拿得出手的光立方，还不如直接购买我精简设计的光立方套件。对，我要为电子制作爱好者设计一款只需极少元器件、制作简单、能让初学者也可以制作出来的规范、美观的光立方套件。当我这么想的时候，我那天马行空的大脑开始运转，在想象力的世界里设计着前所未有的光立方。

首先这个光立方必须制作简单，简单到整机只有一个芯片。然后要保证制作美观，将动手能力导致的美观差异降到最低。在保证以上两点的前提下，如果还可以让它的功能更加强大，且有爱好者自由发挥的空间，那么我的光立方将会是一个完美的设



PCB细节

所需元器件

计——至少我自己这样认为。

功能方面，它除了要能显示 3D 图形，还需要有多级亮度和速度调整，最好可以有音频显示功能，像 DIS.MUSIC21 音乐显示器一样。当然，还要为单片机爱好者设计一个用户自定义图形功能，连接普通的单片机就可以显示出爱好者自己编写的图形。这样，不仅让光立方的显示更丰富，而且从中又锻炼了爱好者的 3D 编程能力。最后，还要用高质量的设计、材料和生产工艺，让品质对得起硬件的精简设计。用炫酷、连贯、有节奏的图形效果，让显示效果对得起高品位要求的观众。这么经典的设计，需要一个简洁、响亮的名字，立方体的英文单词是 Cube，又因为我要制作 8×8×8 的 3D 显示阵列，所以综合得名——CUBE8 光立方。

特点介绍

◆ 8×8×8LED阵列3D光立方体显示器。
◆ 独家精简设计方案，电路简洁，功能强大。
◆ 黑色镜面PCB、全镀金焊盘和LOGO，全面高端品质。
◆ 高亮蓝色雾面LED灯，达到光立方最佳视觉效果。
◆ 连贯图形显示效果，浑然一体，一气呵成。
◆ 混合式触摸电源和模式按键，操作更稳定。
◆ 电源具有常开、常关、光线自动控制方式。
◆ 显示模块有快速、中速、慢速三挡设置。
◆ 4挡亮度的夜灯模式，可营造你的室内气氛。
◆ 2种音频显示模式，可随音频同步显示，给你炫酷体验。
◆ 具有“精简I^2C”接口，全开放式用户自定义操控。
◆ 创新设计的LED阵列制作模板，让LED阵列制作简单快速。

序号	名称	型号	数量	说明
1	PCB	黑色镜面镀金	2片	底板、立板各1片
2	LED灯	高亮蓝色雾面	512个	扁平长引脚式
3	单片机	STC12C5A60S2	1片	LQFP48贴片封装
4	白光LED	0805贴片	1个	制作呼吸灯
5	转接针孔	军品镀金	128个	
6	3M脚垫		6个	
7	双排排孔	80PIN	1条	
8	双排弯针	80PIN	1条	
9	MiniUSB接口	贴片式	1个	
10	光敏电阻	5506型	1个	
11	电容	0.1μF	1个	滤波电容
12	音频线	3.5mm立体声	1条	1.5m长
13	miniUSB线		1条	MiniUSB转USB-A，1.5m长
14	音频分线器*	一分二	1个	（选配元器件，可根据实际情况选择或舍去）
15	USB电源*	5V	1个	（选配元器件，可根据实际情况选择或舍去）

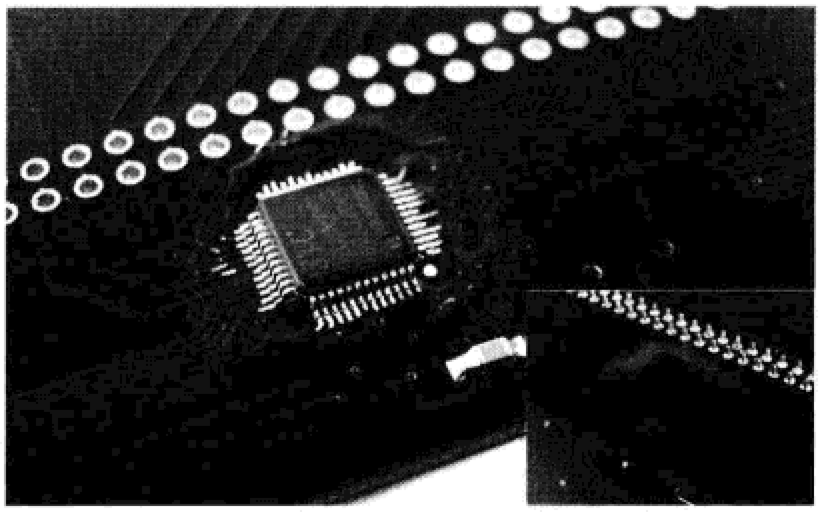
开始制作

把想象变成现实是一个漫长而艰难的过程，我的团队耗时3个月才完成了CUBE8的开发，光设计工作就花了1个月的时间。当然，哪个产品都是费时费力才以得完成的，所以我没有必要在文章里大述甘苦。既然我们已经完成了，那就秀一下成果吧。

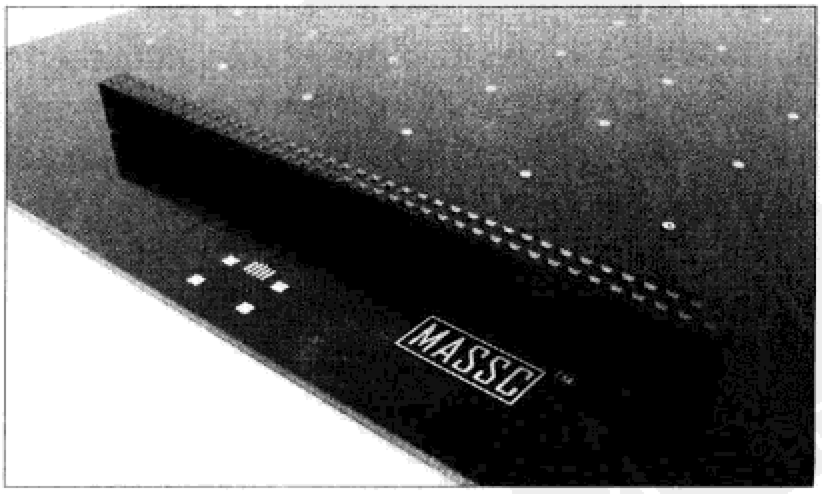
在开始阅读和制作之前，请你做好心理准备，因为制作的过程极具创意和启发。只要你是一名狂热的电子爱好者，你的热情将会被CUBE8光立方的创新设计所激发。

第1步：焊接单片机

CUBE8采用了精简设计，所以核心电路部分只有一个单片机和一个滤波电容，我想不会有比这再简单的电路设计了吧？在制作CUBE8的过程中，首先要完成的就是核心电路部分，它的品质直接关系到整个制作。CUBE8使用的单片机是LQFP48贴片封装的，体积很小，也为焊接带来了一定的难度。焊好后，用黑色绝缘胶带把芯片和电容包好，既美观又安全。

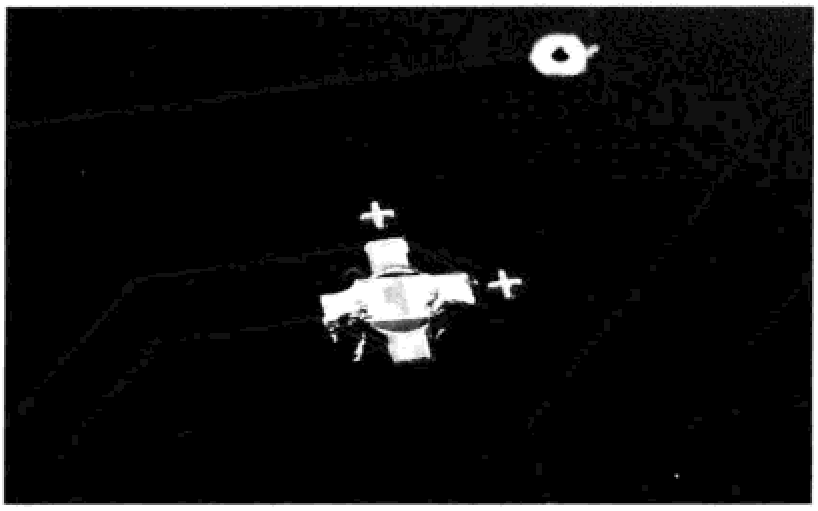


第2步：焊接排孔

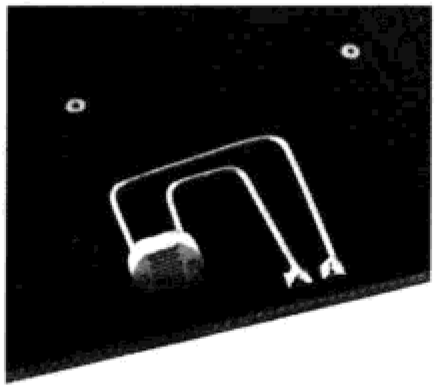


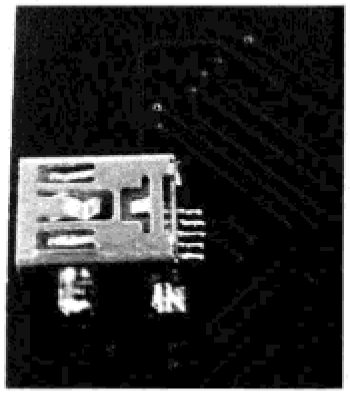
第3步：焊接LED呼吸灯

这个贴片式呼吸灯也算是CUBE8的一个创新设计了。在PCB上打一个孔，然后把贴片LED塞进去。不破坏PCB正面的整洁效果，又可以照亮孔周围的PCB，让它更漂亮。



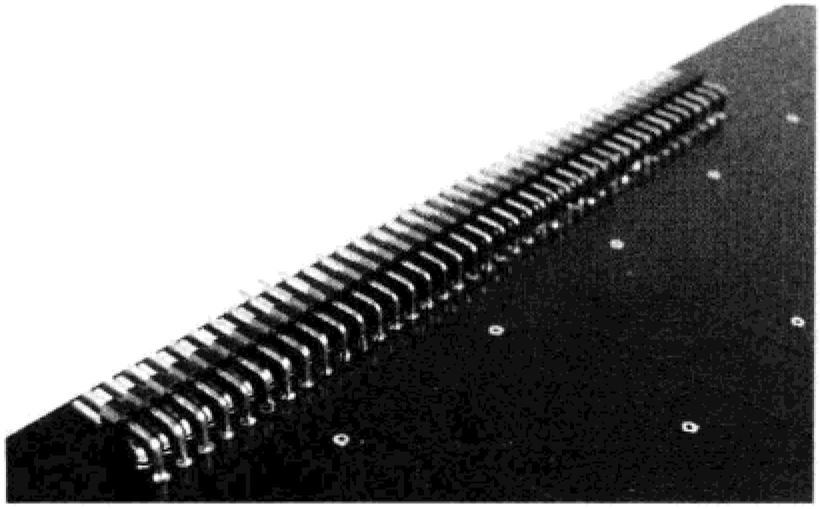
第4步：焊接光敏电阻和miniUSB接口





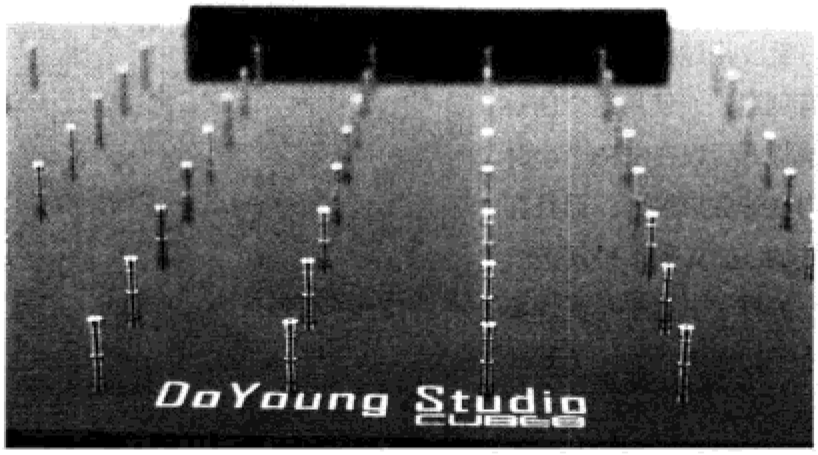
第5步：焊接弯排针到立板上

在立板上焊接弯排针是需要一些技巧的。因为我在设计之初就希望立板的正面是不挂锡的，所以必须从背面焊接。但实际制作中发现，从立板正面焊接也是可以的，对美观的影响不大。



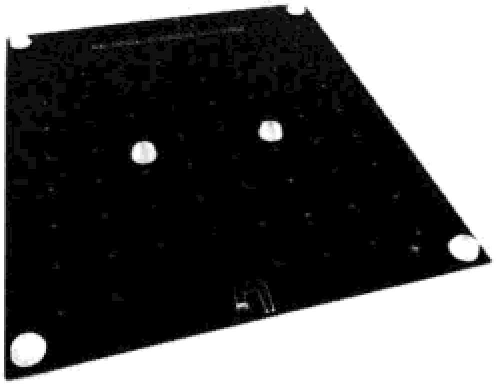
第6步：焊接转接针孔

转接针孔是为了方便 LED 阵列拆装而设计的，因为是重要的接插件，我特意定做了镀金材质的，正好可以和镀金的 PCB 相得益彰。将立板和底板共 128 个转接针孔插入正面，在背面加锡焊接。



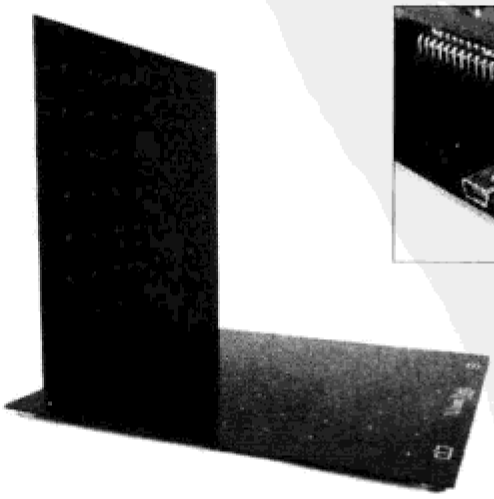
第7步：贴3M脚垫

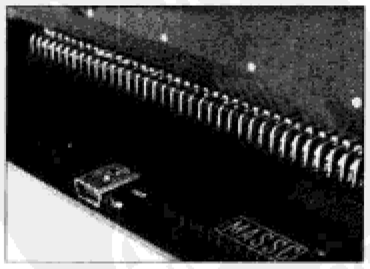
这里我选用的是3M高粘合度透明脚垫。大家可能感觉脚垫是一个不起眼的东西，可是不好的脚垫容易脱落，有时还会有高低不平的情况。所以脚垫的质量也要对得起整机的高品质。



第8步：将立板插到底板上

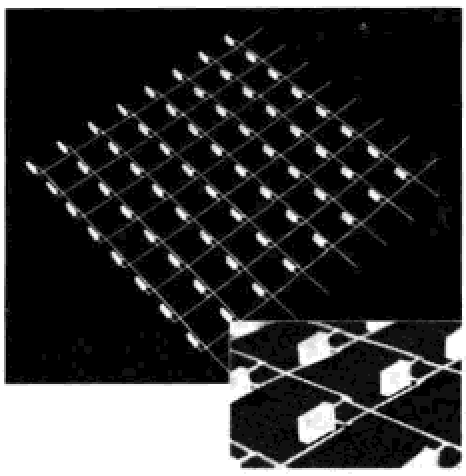
贴好了脚垫，就可以组合立板和底板了。将立板的正面朝前，排针、排孔对齐，插到底板上。保证两板之间不能有缝隙（或缝隙很小），两板呈90° 垂直。





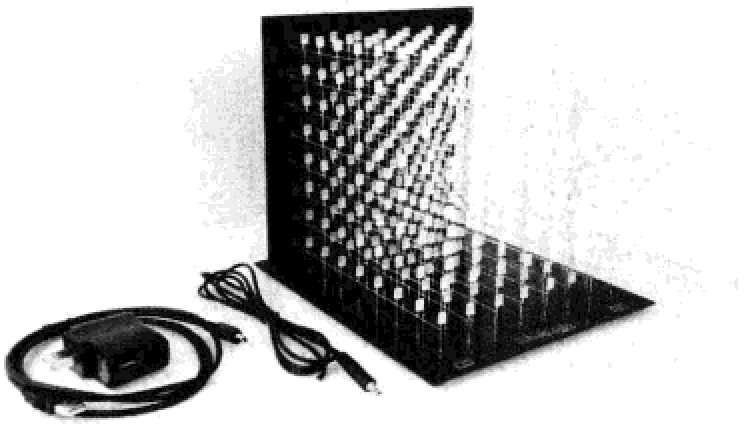
第9步：使用模板制作LED阵列

这是CUBE8最关键的组件。我们需要8片8×8的LED阵列，可以按照图上的样式来手工制作，但是这样做出来的LED阵列很不规范，而且耗费时间。我之前说过，CUBE8一定要是规范化、简单易制的，为此我开发出一款很有创意的模板（至少用过模板的人都说有创意）。使用这个创新模板，可以在5~8个小时内快速完成制作，而且完成的LED阵列都是规范统一的样子，几乎不受焊接水平的影响。



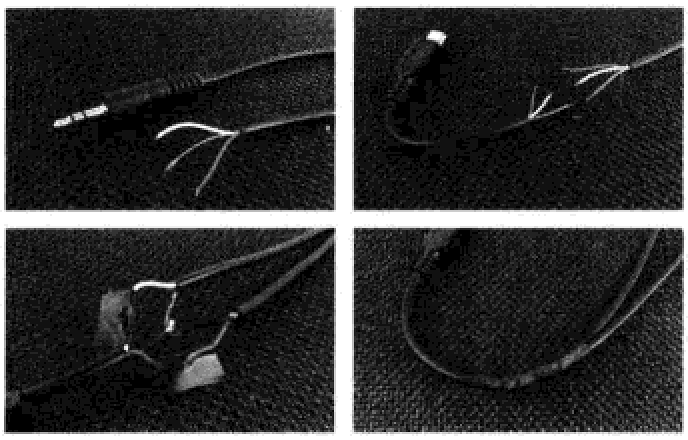
第10步：插接LED阵列

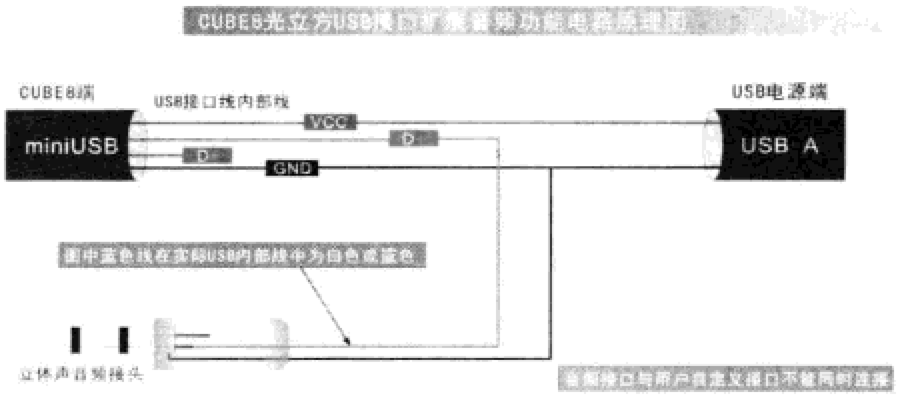
纵向把8片LED阵列插入转接针孔里，插好后适当地调整一下阵列间的距离。CUBE8主体部分就制作完成了。



第11步：制作音频和USB电源复用线

制作完CUBE8的主体部分之后，我们还需要一条混合功能的USB线。当然，如果你不想使用音频显示功能，可以直接用一条普通的miniUSB连接线来给CUBE8供电。如果想使用音频显示功能，就要跟着我做了。按照“USB接口扩展音频功能电路原理图”上的接线方法，把音频线和miniUSB线焊接在一起，用绝缘胶带包好，最后用热缩管密封。

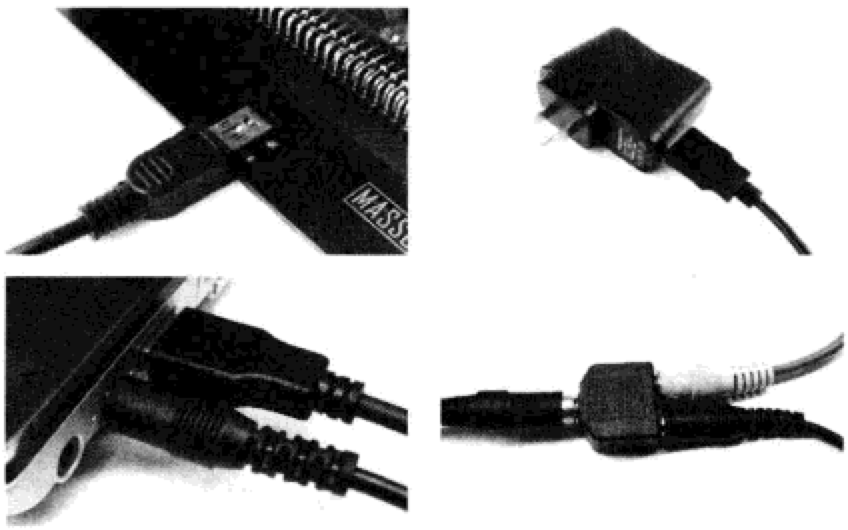


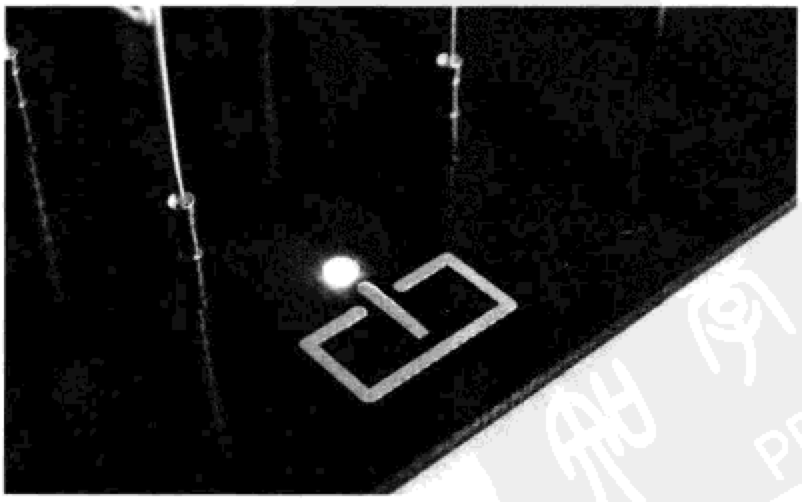


USB接口扩展音频功能电路原理图

第12步：插好接口

把miniUSB接口接在CUBE8上，USB-A接口插在USB电源适配器或电脑的USB接口上，使用音频分线器将音频线与音响的音频输入线并联。到此为止，仅12步就完成了CUBE8的所有制作。接通电源，白色LED灯开始呼吸，轻触呼吸灯下方的电源键，CUBE8将闪亮登场。





呼吸灯效果

使用简介

非常好，CUBE8在运行，一个真实的3D魔方。我们可以通过2个触摸按键来操作CUBE8，使用方法非常简单。

◆ 开机：

在待机状态下（呼吸灯状态下）按下电源键（左侧），就可以开机了。需要注意的是，CUBE8采用了混合式触摸按键技术，即电平式触摸和电容式触摸，同时检测触摸操作。这样做既解决了电平式触摸抗干扰能力差的问题，又解决了电容式触摸没有碰触到就动作的问题。所以，CUBE8的混合式触摸按键需要用一点力按下去才会动作，有一点像电阻式触摸屏的感觉。

◆ **功能选择**：

按电源键开机，系统会先进行简易的三轴坏点扫描，然后就会弹出菜单。菜单有1（慢速图形）、2（中速图形）、3（快速图形）、A（音频显示）、N（夜灯模式）、U（用户自定义模式）共6个项目。通过按菜单键循环切换，调到欲进入的菜单项时，等待2秒钟就可以进入了。在图形显示、音频显示、夜灯模式和用户自定义模式中按菜单键，都可以跳回到菜单选择界面。需要注意的是，在CUBE8没有连接用户自定义功能板的时候，U的菜单项是隐藏的。

◆ 图形显示模式：

系统自带的图形显示模式有慢、中、快三种速度，分别对应1、2、3这三个菜单项。慢速显示可以配合一些轻音乐，中速可以配合流行音乐，快速可以配合摇滚乐等。选择正确的速度、配合正确的背景音乐，可以达到非常炫酷的显示效果。如果你只是想把CUBE8当作家居的摆设来配合“静音”，建议你用慢速显示就可以了。我实验过，效果不错。

CUBE8系统自带的图形可不一般哦，因为长达数分钟的图形都是连续不间断的。如果把之前网上已有的光立方显示效果比喻成一张张切换的图片的话，那CUBE8的图形效果就是一部电影（至少是一部小成本DV电影）。图片是突然切换的，两张之间没有任何联系——刚刚还是一个球，突然就变成方块了。CUBE8的图形带给你的是一气呵成的效果，每两个效果之间是有巧妙的转场的，使显示的节奏连贯。另外，CUBE8的显示还是由点到线、由线到面、由简单到复杂的推进过程。好像电影一样，有前奏、有高潮、有尾声。

◆ **音频显示模式**：

如果你想让CUBE8更直接地配合音乐，那么音频显示模式将是你的不二选择。接好音频输入线，进入到菜单A项，LED阵列的最下边的一面常亮，这是基准显示。当音乐响起，LED阵列就会以波形的方式显示音频，这时可以按3号键切换到柱形显示方式。所谓的3号键，就是先按住菜单键不放，再去按电源键。按3号键可以在波形和柱形显示方式之间切换。CUBE8的音频显示中同样使用了DIS.MUSIC3音乐显示器程序中所使用的自动增益控制功能，不用担心音量过小而使音柱不能到顶，也不用担心音量过大而使音柱一直在顶端不下来。CUBE8会监测音量变化，自动呈现最佳显示效果。

◆ **夜灯模式**：

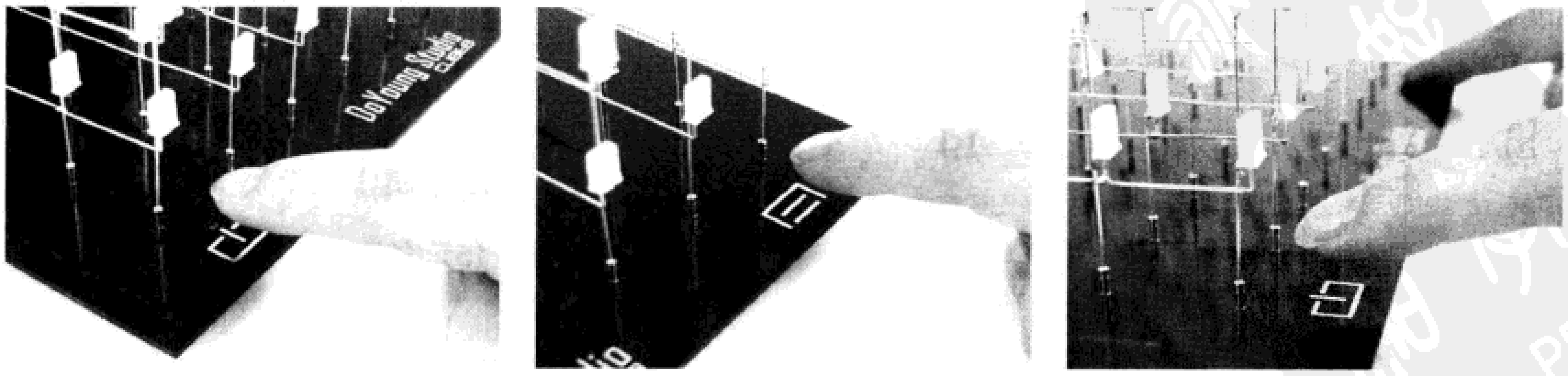
进入到菜单N项即是夜灯模式，夜灯模式就是512个LED灯全亮，在夜间营造一种浪漫的气氛，给你的房间带来一份温馨。可以通过按3号键切换4挡的夜灯亮度。

◆ **用户自定义模式**：

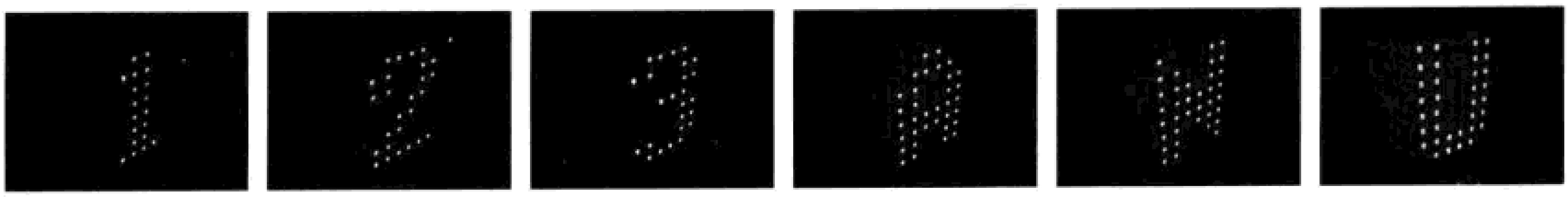
在连接好用户自定义板的前提下，进入到菜单U项，就可以发挥你的天才想象力，编写属于你自己的图形了。在本文的最后，我将重点介绍这一功能。

◆ **光控模式**：

在待机状态下按下菜单键（右侧），LED 阵列上会流动显示“AUTO”字样，就进入了光控模式。光控模式的作用是在环境光线较暗的时候，CUBE8 自动进入待机状态，而不会打扰人们夜间休息。当环境光线较强时，CUBE8 自动开机。光控模式采用了双临界值采样，开机和关机是 2 个采样值，所以不会出现在环境光不强不暗（处在临界值）时，CUBE8 反复开关机的情况。在音频显示、夜灯模式下，光控是失效的，切换回图形菜单后，光控继续有效。想退出光控模式只要在任何情况下按下电源键就行了。



电源键、菜单键、3号键的操作方法



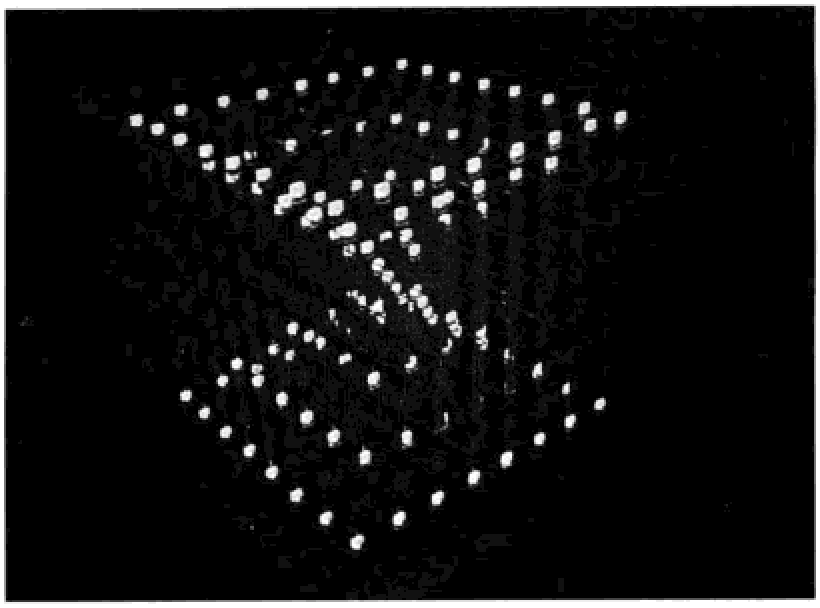
菜单显示效果

◆ **坏点测试模式**：

坏点测试模式是专门为电子爱好者开发的一个模式，当您制作好套件之后，如何测试每一个LED灯是否有短路、断路的情况呢？答案是，在待机状态下，长按电源键8秒钟，进入到坏点测试模式。进入到此模式后，电源键无效，然后按菜单键逐帧地测试LED灯，在测试一遍后会自动退出，回到待机状态。

关机：

在图形显示、音频显示、夜灯模式、用户自定义模式状态下，都可以按下电源键来关机。LED阵列上显示“OFF”字样，然后进入待机状态。需要注意的是，为了防止误操作，在菜单切换界面、开机简易三轴坏点扫描和坏点测试模式下，按电源键是无效的。



属于你的自定义图形

CUBE8光立方实在是太酷了，虽然我不应该自卖自夸，可是我实在是忍不住要赞美它呀。把它摆在客厅里，仅用系统自带的图形显示，就能给你的家居增添几分科技气息，但是CUBE8的功能并不只限于此。在设计之初，我就决定要专门为电子爱好者设计一个开放式的平台，让CUBE8不只是一个摆设，还是一个学习编程和3D图形设计思维的工具。于是我设计了一个用户自定义功能，这是一个全开放式的自定义模式，在这里你可以任意操控每一个点，设计出任何你想要的图形效果。另外，你还可以操控LED的亮度、动画速度、全局显示和反亮显示，甚至还可以设置CUBE8内部的菜单值，任意切换到系统自带图形上。

设置CUBE8内部菜单值是一个很实用的设计。比如，你想把CUBE8送给你的女朋友，于是编写了一个“小雪，我爱你”的图形效果。你这样做一定会让她很开心，可是接下来就麻烦了，如果同样的图形重复显示N次，她的头顶将会出现黑色的3条竖线。可是你又不可能像我们开发人员一样，花1个月的时间来设计更多的图形。就在这个紧要关头，CUBE8内部菜单值设置将救你于水火之中。你可以在显示完你的浪漫图形之后，直接用内部菜单值设置跳转到系统自带的图形当中，在系统图形完成一个循环之后，再跳回来显示你的浪漫图形。这样不仅让她感觉新奇不断，还可能让她误以为所有图形和硬件都是你为她制作的呢。

CUBE8除了可以满足你的送礼需要，还可以锻炼你的编程思维，这都依赖于CUBE8的两个独特优势：图形数据表加巧妙算法的动画编程、3D立体化图形的设计。可能大家之前都玩过LCD1602、LCD12864和LED点阵屏，通过它们学懂了2D平面图形的设计、生成和编程，这一过程会让你受到启发，熟悉了一种新的编程思维。而同样的启发也会在CUBE8中得到，把你的2D思维提升到3D的思维方式。3D图形的编程也是很巧妙的事情，并不是把8个2D的图形叠加起来这么简单。设计3D图形，需要有新的思维方式，发现三维空间中点、线、面、体的算法规律，在程序中运用循环、判断语句、参数逻辑运算等方法，用最少的语句达到最佳的显示效果。我已经开始录制一套视频，专门介绍CUBE8用户自定义图形的编程方法，借此让CUBE8变成学习的平台。

CUBE8光立方，标准化、套件化、简单易制的LED阵列3D显示器，技术和设计的创新让大家改变了对光立方那复杂硬件和程序的印象。原来制作如此简单，原来自定义如此有趣。CUBE8光立方是一个炫酷的科技作品，也是提升编程思维的学习平台，为电子爱好者提供了一个新的开始。重装上阵，一起享受创新制作带给我们的至乐之道吧！

套件销售

价格：430元/套 + 15元(邮费)

购买方式如下：

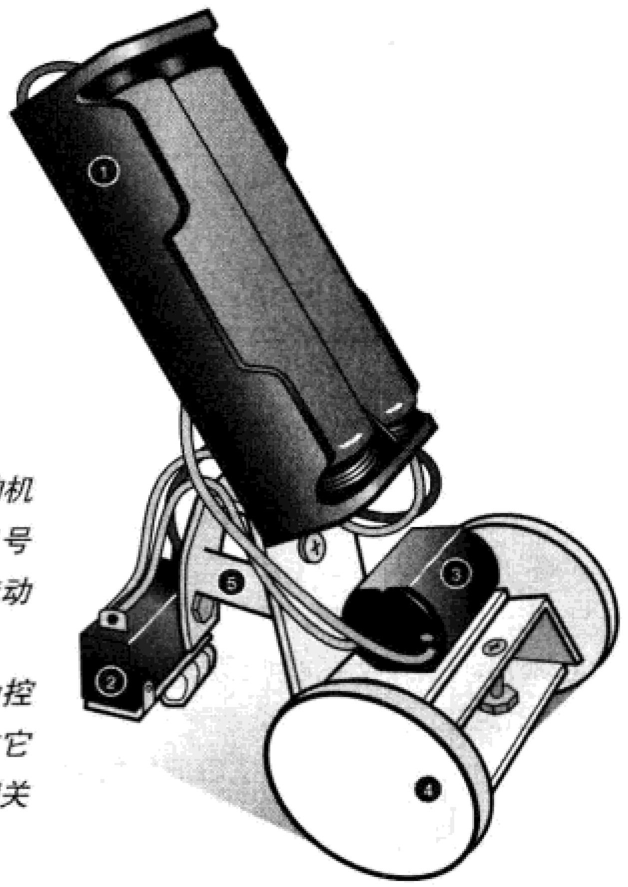
1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

PVC-Robot 9号：忐忑者

◎Plenilune ◎插画：肖娴

自平衡双轮小车



PVC-Robot系列是用PVC材料制造、贯彻“低成本、易制造”理念的机器人，本刊已经在2011年第2期、第4期、第5期中分别介绍了该系列的1号机——避障机器人、3号机——太阳能滑行机器人和4号机——太阳能转动机器人，本次介绍的是6号机——太阳能翻跟斗机器人。

在PVC-Robot系列中，不少机器人是采用同样的电子电路进行行为控制的（即内在是一样的），但是外形和移动的方式却有较大不同。通过它们，我们可以了解更多DIY机器人的驱动方式，学习关于机械以及运动相关的知识。

本刊曾经介绍过的几款PVC-Robot多以太阳能为动力，要玩的话，要么等出太阳，要么得自己点个大灯泡，这次我们换种类型调剂一下，做一个自平衡双轮小车。本项目只有一个简单的电路，依靠简易的反馈机构，却能实现高技术难度的自平衡。自平衡的原理，其实就是靠小车前后来回运动保持平衡。原来考虑“来来回回”文艺一点可以称为“徘徊”，但是后来某网友看完视频之后有一给力的评语——忐忑，加上这也是近来网络流行语，同时也确实能够反映实际运行时那种焦躁不安的感觉，所以最后定名为“忐忑者”。自平衡双轮小车共有两个版本，由于采用的是简单的机械式反馈机构，精度不足，总体来说效果不是太理想，但作为阐述自平衡车原理的一个范例，还是有一定积极意义的。

机器人的结构

- ❶ 电池盒
- ❷ 限位开关
- ❸ 电机
- ❹ 内置齿轮减速箱的车轮
- ❺ 限位开关支架

■ 效果视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjU2OTkxNTQw.html

基本原理

本项目机器人是一辆简易型的双轮自主平衡小车，通过一个简单的机械式传感器获取小车的姿态，并通过调节小车前后运动方向，使得小车依靠两轮也能保持一个直立平衡。

1. 运动机理

双轮小车的自主平衡原理，其实就是不断地通过改变小车前后运动的方向，使小车的车身在竖直方向上保持一个动态的直立平衡，类似杂技演员表演的独轮车。

双轮自平衡小车重心位置比较高，位于车身底部的两个车轮是平行安装的，在静止状态下，小车是无法保持直立状态的。

如果车轮带动小车前进，小车下半身会比上半身先获得前进的加速度，即启动的瞬间小车的下半身前进而上半身静止，将会出现小车趋向后仰的状态。

如果车轮带动小车后退，小车下半身会比上半身先获得后退的加速度，即启动的瞬间小

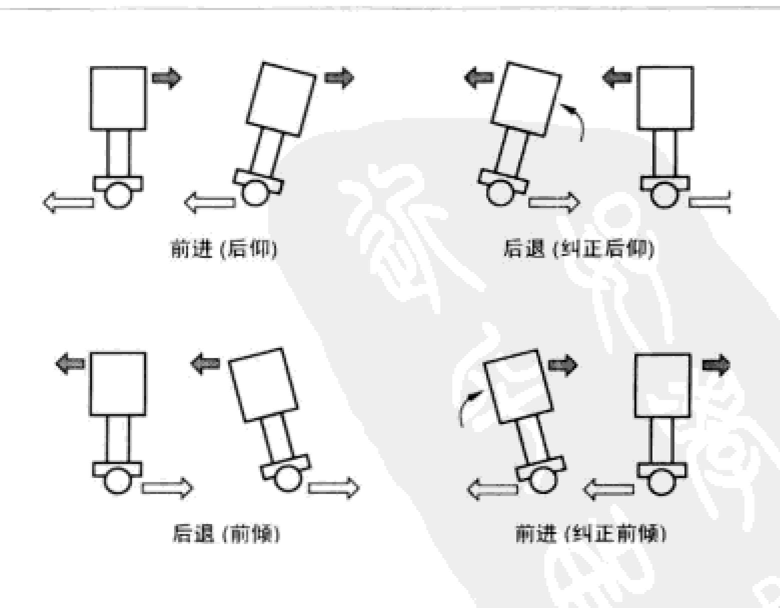


图1 动态平衡原理

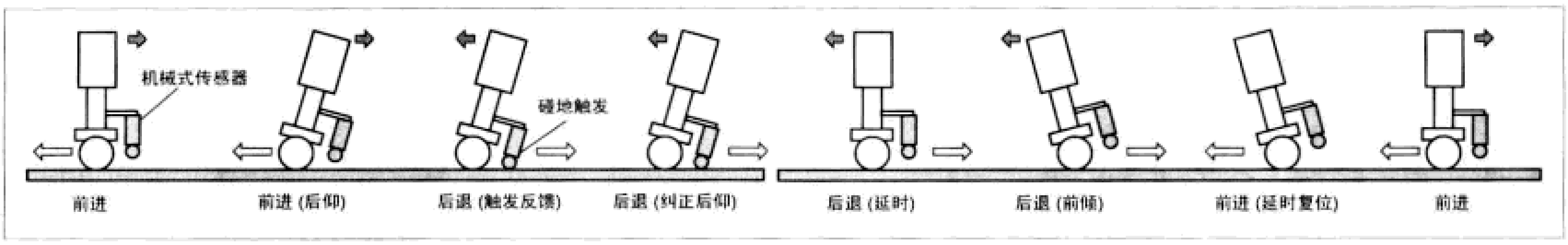


图3 PVC-Robot 9号的平衡控制原理

车的下半身后退而上半身静止，则会出现小车趋向前倾的状态。

由于小车重心较高，随着小车的继续运动，后仰或者前倾的趋势会越来越大，必须及时纠正，否则小车就会倾倒下去。

如果小车前进中，有了后仰的趋势，达到一定程度后，可以让小车后退，产生前倾趋势去纠正原来的后仰趋势。如果小车后退中，有了前倾的趋势，达到一定程度后，让小车前进，产生后仰趋势去纠正原来的前倾趋势。如此往复循环，小车就可以保持动态平衡状态（见图1）。

2. 控制原理

小车后仰或者前倾的趋势必须在适当的时刻予以纠正，如何探知什么时刻是恰当的，就需要借助一个姿态反馈机构，在我们认为小车的姿态刚好到了要调整的时候，反馈给控制系统，及时改变小车的运动状态。

可以用于自平衡小车的姿态反馈机构有多种。性能最好也最复杂的，是专业的姿态传感器——角度传感器辅以加速度传感器，可以精确地探知小车的准确姿态。简单一点的，可以利用光反射器件，把光线对着地面照射，探测反射光线的强度来获知小车的姿态（见图2）。

双轮自平衡小车其实是一种技术难度比较高的项目，从以上所提到的姿态反馈机构就可见一斑。我们并不需要一下子涉入过深，以简单可行的方式了解基本的原理即可。所以在本项目里，我们没有应用复杂的反馈机构和单片机，而是用了一个简易的机械式传感器——限位开关，并结合特殊的控制电路，用一个非常简单的方式实现小车的自平衡控制。

在小车后部安装了一个限位开关，其实就是一个“微动触碰开关”。为了简单起见，限位开关只有在小车前进导致后仰时进行姿态的反馈控制，而对于后退导致前倾时，不是探测其姿态，而是利用限位开关所具有的机械延时特性（也就是机械式的触点状态改变不是即时的，而会有一个短暂的时间），限制一个时间——小车后退到了这个时间后，姿态也正好到了要调整的时候。

具体过程如下（可对照图3来了解）：

（1）小车电源接通后，在限位开关没有被触发的状态下，电机正方向转动，小车前进。

（2）小车前进，导致后仰。

（3）当小车后仰角度达到一定程度时，限位开关的触点碰地触发，电机的电流方向改变，电机反转，小车后退。

（4）小车后退，后仰状态被纠正。

（5）限位开关虽然停止触发，但由于机械特性，并没有马上完成复位，而是让小车继续后退一小段时间。

（6）小车继续后退，逐步呈现前倾状态。

（7）限位开关完成复位，小车自动变为前进状态，开始进行前倾状态的纠正。

（8）小车前进，开始新的循环。

对于小车后仰或者前倾趋势的纠正，必须到位。这里所说的到位，可以说是力度恰当，而这力度又是由车速决定的。车速太快，容易矫枉过正，导致小车快速变成相反状态，无法控制；车速太慢，可能来不及纠正就导致小车倾倒了。所以这里我们应用了电机的减速机构，也

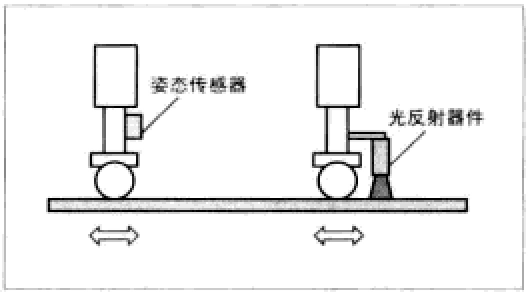


图2 常见的两种姿态反馈机构

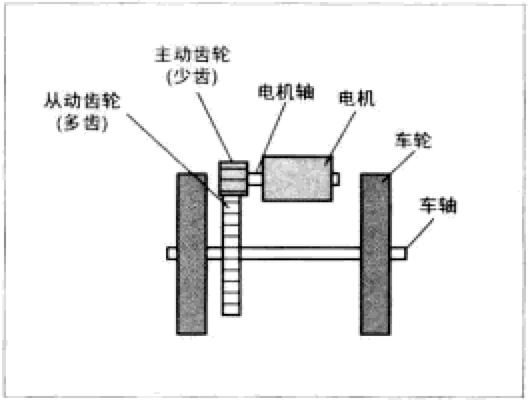


图4 PVC-Robot 9号 I 型（一级齿轮减速机构）

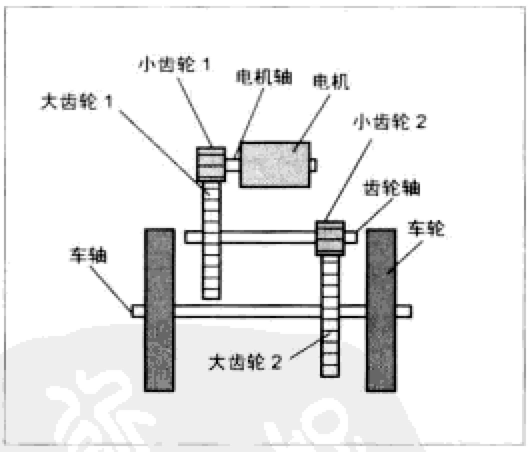


图5 PVC-Robot 9号 II 型（二级齿轮减速机构）

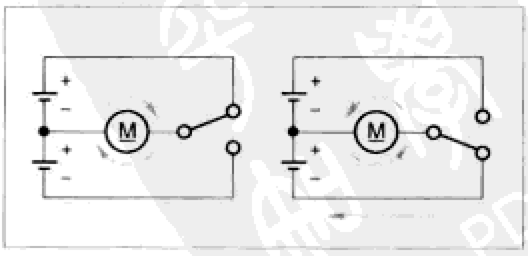


图6 控制电路原理图

就是用齿轮变速箱对高速旋转的电机进行减速。齿轮减速箱除了可以降低小车的车速之外，还可以增大小车驱动的力度，即从高转速、低扭矩状态变为低转速、高扭矩状态。

如何选择合适的齿轮减速机构，是双轮自平衡小车设计制作的重点。现成的齿轮减速箱不是很好找，我们采取的方式是用散装的齿轮DIY齿轮减速箱，并设计了两个不同版本。

PVC-Robot 9号Ⅰ型采用一级齿轮减速箱（一组齿轮），体型小，使用2节电池供电，整体重量轻，减速比小一些，输出转速稍快。限位开关有一个机械弹簧，是需要一定的压力才能触发的。虽然Ⅰ型的重量轻，压力可能不够，但是由于它速度快，由速度带来的冲击力也能增加对限位开关的压力，促使其触发。

PVC-Robot 9号Ⅱ型采用二级减速齿轮箱（两组齿轮），体型大，使用4节电池供电，整体重量大，减速比大一些，输出转速较慢，主要靠重量触发限位开关。

3. 电路原理

本项目的控制电路利用限位开关自身所有具有的选择连通功能，通过切换供电的电池组，从而更换电流方向来改变小车的运动方向，原理如图6所示。而限位开关则连接一个触点，触点碰地，限位开关被触发。

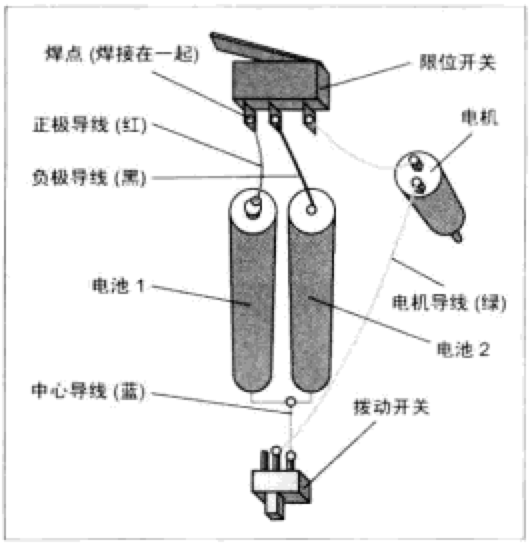


图7 电路焊接示意图

准备工作

本项目需要的器材主要包括：PVC线槽、小电机、电池、电池盒、限位开关、拨动开关、齿轮组、滑轮、曲别针、螺丝等。主要的器材都可以从网上购买，表1列出了采购成本。由于有些器材是批量采购的，而制作一个机器人用不了那么多（剩下的可以留待以后使用），所以另外加了一项成本折算。

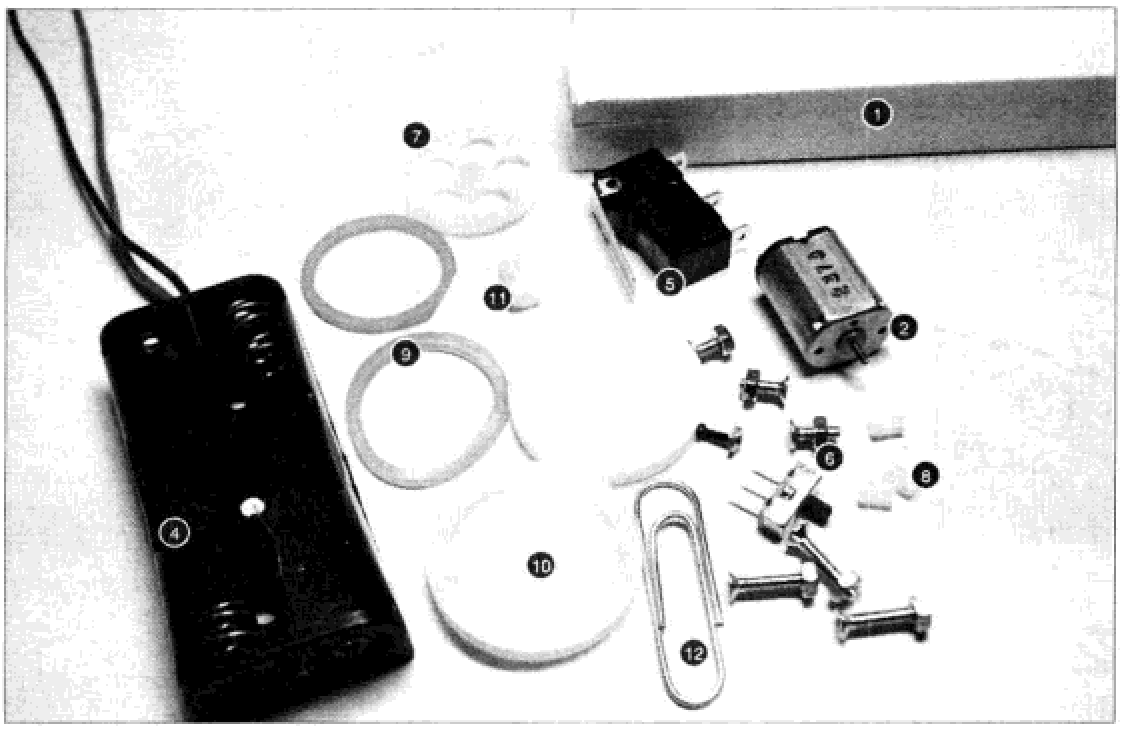


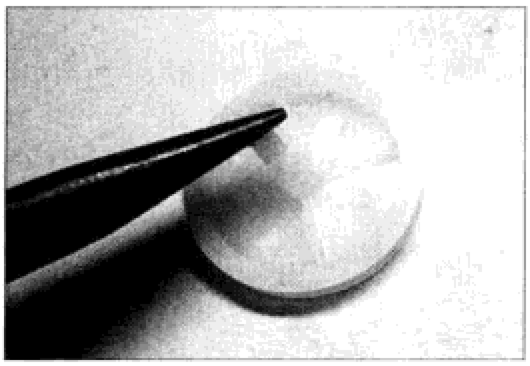
表1 制作所需的材料与成本

名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
❶PVC线槽	2.5cm宽	1段	4元 / 1元	主要结构材料
❷小电机	1.5V微型电机，轴径1mm	1个	2.85元	动力
❸电池	7号（AAA）电池	4个	4元	电源：Ⅰ型2个、Ⅱ型4个
❹电池盒	7号（AAA）电池盒	2个	2元	电源连接：Ⅰ型需要一个 Ⅱ型需要两个
❺限位开关	行程开关	1个	0.78元	姿态传感器
❻拨动开关	小拨动开关	1个	0.36元	电源开关
❼齿轮组	孔径0.95mm	2对	3元	减速箱齿轮：Ⅰ型需要一对 Ⅱ型需要两对
❽小齿轮	孔径0.95mm	2个	1元	车轮卡箍
❾橡皮圈	小橡皮圈	2个	0.02元	车轮外胎
❿大滑轮	大皮带轮	2个	1元	车轮
⓫小滑轮	小皮带轮	1个	0.5元	传感器触点
⓬曲别针	标准钢丝文具别针	2个	1元 / 0.02元	车轴、齿轮轴Ⅰ型需要一个 Ⅱ型需要两个
⓭M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	1颗	4元 / 0.04元	固定电机底座
⓮M2×6螺丝	直径2mm，长6mm，平头	1颗	2元 / 0.02元	固定电池盒
⓯M2×6螺丝	直径2mm，长6mm	1颗	0.02元	固定限位开关支架
⓰M2×6螺丝	直径2mm，长6mm	3颗	0.06元	固定Ⅱ型底盘
⓱M2×10螺丝	直径2mm，长10mm	1颗	4元 / 0.04元	固定限位开关
⓲M2×10螺丝	直径2mm，长10mm	2颗	0.08元	固定Ⅰ型底盘
⓳M1.2螺母	孔径1.2mm	1颗	15元 / 0.15元	固定螺丝
⓴M2螺母	孔径2mm	5颗	2元 / 0.1元	固定螺丝
㉑M2螺母	孔径2mm	3颗	0.06元	固定Ⅱ型底盘螺丝
㉒M2垫片	孔径3mm	2片	2元 / 0.04元	车轴垫片
合计			49.73元 / 17.14元	

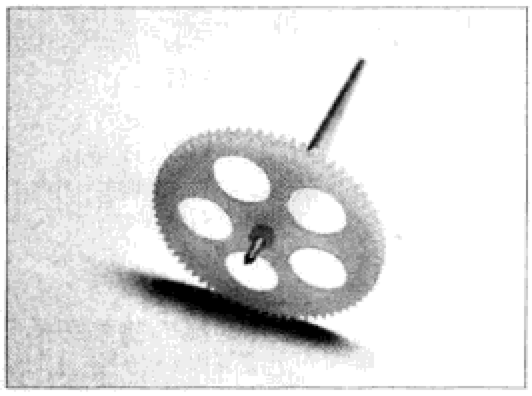
制作过程

首先介绍的是Ⅰ型的制作过程，对于Ⅱ型将在扩展升级中再作介绍。

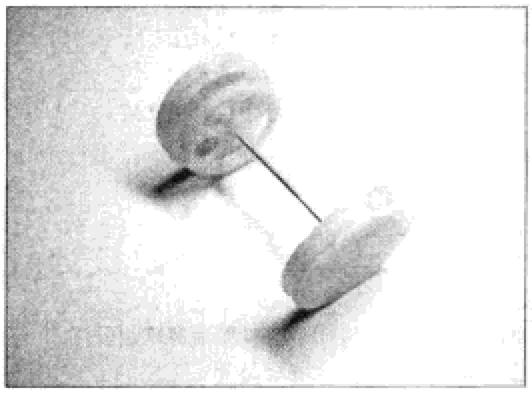
1 首先制作车轮。由于用于制作车轮的大滑轮的轴孔比较大，无法卡住用曲别针制作的车轴，所以要在滑轮里再插一个孔径为1mm的小齿轮。如果小齿轮的外径比较大，无法直接插入滑轮的轴孔，则先要把大滑轮的轴孔扩大。



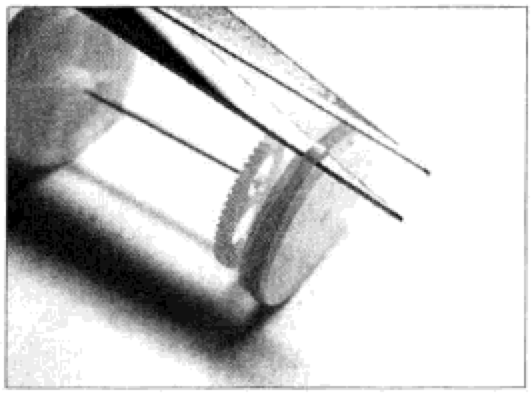
2 接下来制作齿轮减速箱。先把曲别针拉直做成车轴，截取长度为5cm左右的一段，把大齿轮套到车轴中。



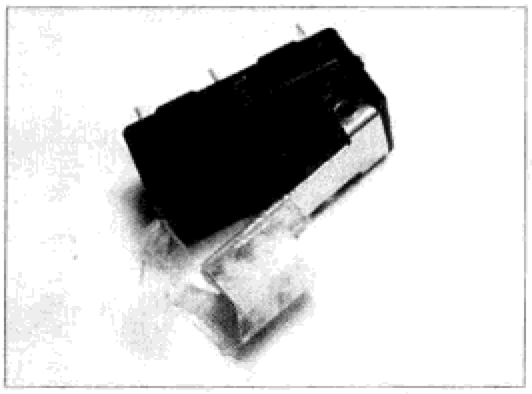
3 再把大滑轮（已装上了小齿轮）插入到车轴的两端。



4 把橡皮圈当做轮胎套到大滑轮上，注意借助镊子逐步把橡皮圈平整的一面都包在外面。



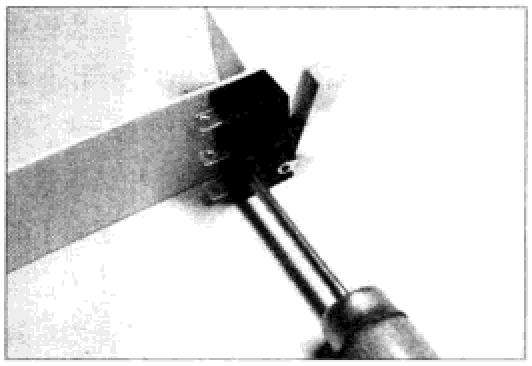
5 小滑轮作为姿态传感器的接地触点。把小滑轮用透明胶带缠绕在限位开关的金属摇臂上。



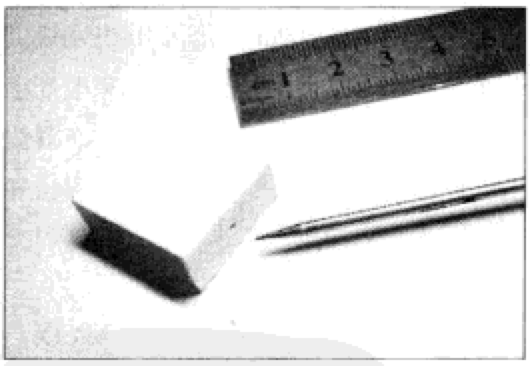
这里之所以用一个小滑轮作为传感器触点，除延长触发限位开关的摇臂外，在一定程度上也是让小车倾斜接地时有大一点、稳一点的支撑点以保持平衡，毕竟我们这个自平衡小车依靠机械接触式进行感应，相对来说控制方面还是有点粗糙的。

为了稳一点，为什么不干脆用一个平面接地呢？如果接地面积过大，会造成较大阻力，影响小车的移动，而且容易把这个双轮车变成三轮车。目前这样的圆柱形滑轮是比较合适的选择。

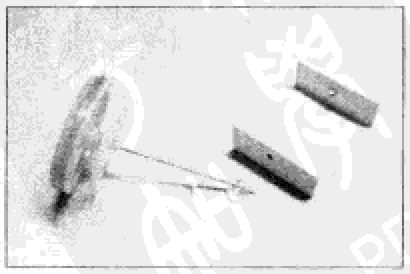
6 剪一块长10cm、宽1.5cm左右的PVC方条作为车身支架，对准限位开关的安装孔，用锥子在车身支架上打孔。请注意，应该确保限位开关摇臂前端，也就是作为接地触点的小滑轮正好位于车身支架的中心线上。



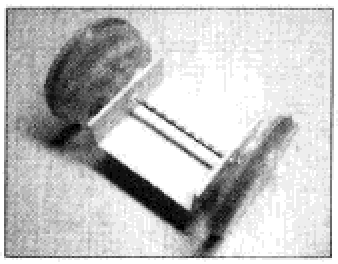
7 选宽度为2.5cm左右的PVC线槽，把凹槽一侧用剪刀裁出长度为2cm左右的一段。把线槽上固定外壳卡槽的部分剪掉，作成小车底盘。在底盘两侧的中心位置用锥子各打一个小孔，要求两个小孔的位置完全一样。



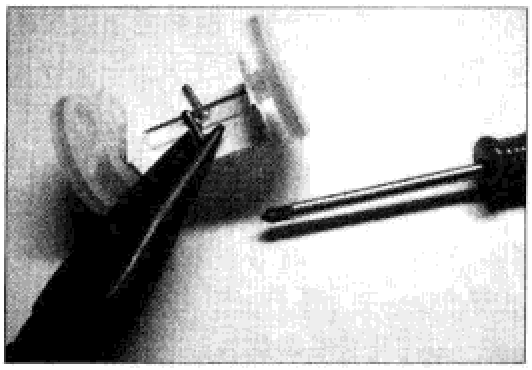
8 把车轴套上塑料垫片，然后穿过凹槽底盘的小孔。关于齿轮箱的安装请参照图4。



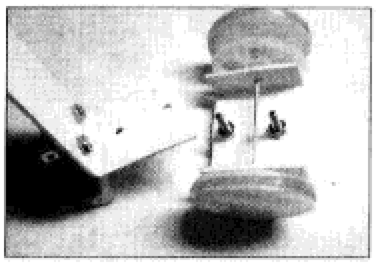
9 假如车轴过长，可以用尖嘴钳截掉一些，确保车轮安装的空隙正好如下图所示（之间的空隙加有垫片）。



10在底盘上钻两个直径为2mm的小孔，把M2×10螺丝用螺母固定起来，注意用尖嘴钳配合螺丝刀，把螺母拧紧。

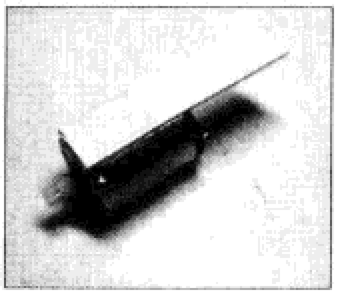


11在车身支架上对着底盘螺丝的位置，也钻好两个直径为2mm的小孔。在底盘螺丝上再拧上两个螺母，注意要高于车轴的位置，主要用来限位，即让底盘中间有一定的空间。

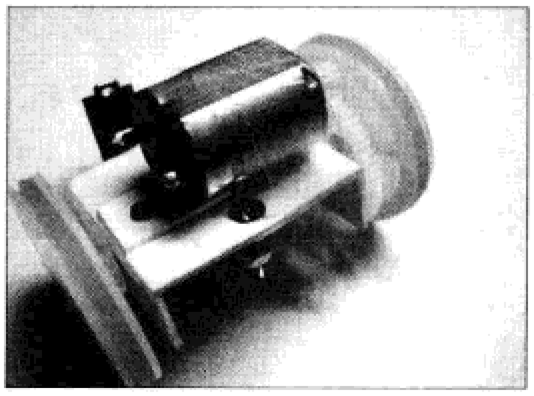


12把车身支架固定到底盘上，由于有螺母的限位支撑，底盘中间还预留有空间。把齿轮和滑轮在车轴上插紧，因为车轴有点软，注意不宜直接对车轴发力，可以借助镊子的支撑，把齿轮和滑轮压入车轴中。

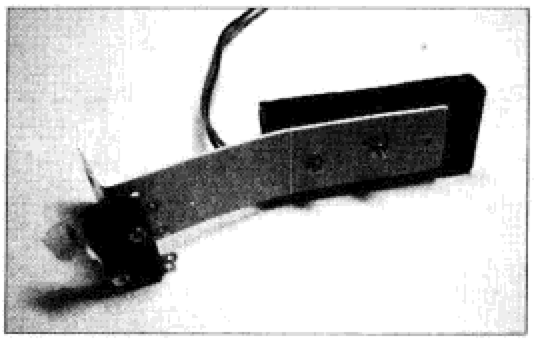
13把小齿轮套在小电机的轴上，再裁一块长3cm、宽0.8cm的PVC方片作为电机底座，用透明胶带把电机绑在电机底座上。



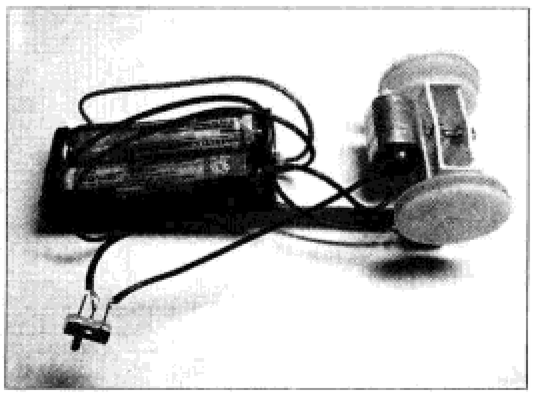
14把电机底座安放在小车底盘上，把长出的部分剪掉，调整其位置，让电机上的小齿轮与小车底盘的车轴上的大齿轮刚好咬合。然后把电机底座用M1.5×8小螺丝固定起来（只起到基本的限定位置的作用），并用透明胶带把电机缠绕在小车底盘上。由于齿轮变速箱中齿轮之间的咬合不能太紧，最好预留一点空隙或者保持一点弹性，而用这种“螺丝限位+透明胶带缠绕”的固定方式是比较合适的选择。



15把电池盒用螺丝安装到车身支架上，注意这个电池盒的安装高度决定了重心的位置，对实际触发的灵敏度以及运行的效果有影响，一般不一定能一次性安装成功，下图中车身支架上的几个小孔就是在调试过程中留下的。车身支架也不一定是直的，可以有一定的弯度，这主要还是看调试的需要。



16按照图7所示的电路焊接示意图把电路接好。导线可以暂时保持原来的长度，等后面都调试好了再截短。



调试

对完成总装集成的机器人进行调试。拨动电源开关，确认小车默认是前进的。假如小车默认是后退的，可以把连接电机电极的两根线调换过来。

确认电路没有问题之后，尝试让小车进行自平衡控制。一般常见的问题是小车前进、后仰触发限位开关的瞬间，容易支撑不稳，直接倾倒下去了。这个问题的原因是触发限位开关时由于是接触式的，对平衡还是会有影响。所以多数情况下，这个限位开关还要起到一个支撑的作用，而且与双轮组成了一个三点支撑结构，要确保稳定，就是要让重心处于这个三点支撑的三角形内部。

因为双轮的位置是固定的，如果要调整，就需要把限位开关的安装位置稍微远离车身支架——也就是说，要再做一个限位开关的支架。我们尝试过如图8所示的支架，但经过实际的测试，最终还是选择了如图9所示的支架，原因是便于调整限位开关的安装高度。支架的尺寸不是固定的，大家可以自行在调试中确定下来。可

以通过调整车身支架和电池盒的角度来改变小车重心位置，可以通过改变限位开关的支架高度来调整传感器的灵敏度，最后得到最好的运行效果。

调试没有问题之后，把导线的长度截短，整理布线位置，尝试借助透明胶带把混乱的连线绑好， 同时将拨动开关沾上少量502胶水，粘在车身支架上，PVC-Robot 9号Ⅰ型机器人就制作完成了。

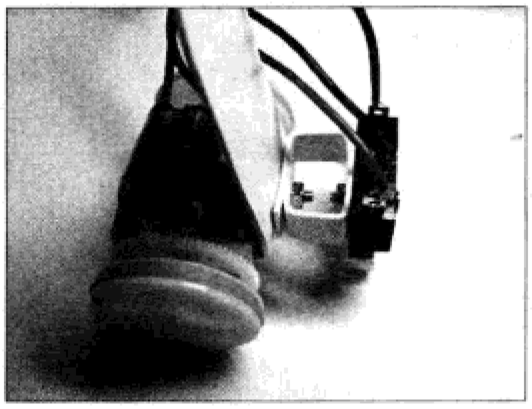


图8 限位开关支架的最初设计

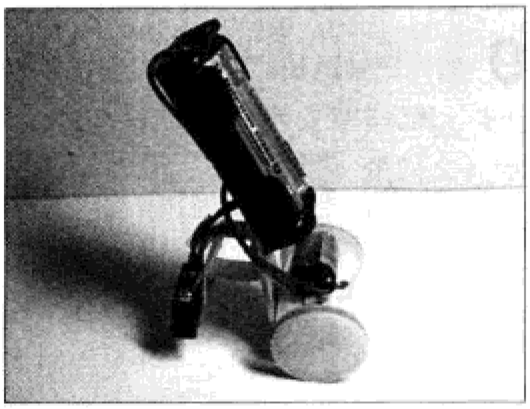


图9 限位开关的最终设计

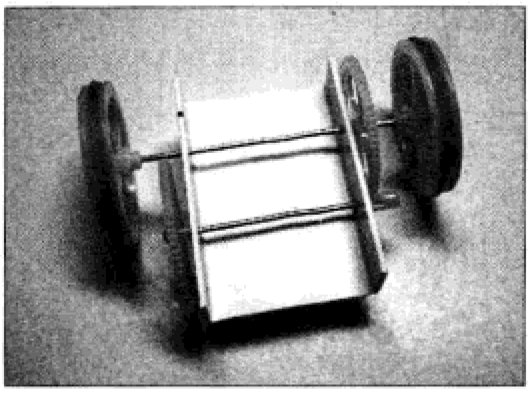
完善升级

Ⅰ型自平衡小车，车速有点快，前后运动切换得比较突然，整个平衡效果过于忐忑，所以笔者决定重新设计一个版本。

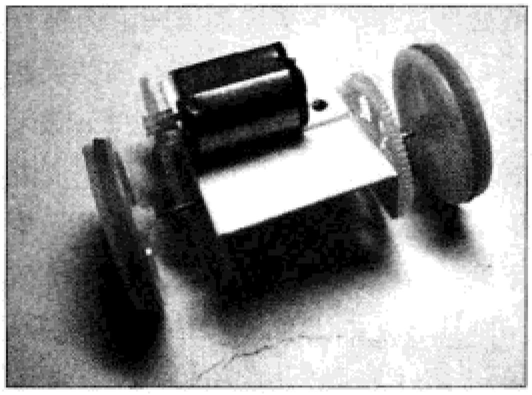
Ⅱ型多一组减速齿轮，把车速降了下来，但是测试时发现速度又降得过慢了，有点来不及纠正平衡倾斜的感觉，并且由于缺乏速度带来的冲击力，导致触发限位开关的压力不够，于是决定把电池增加到4节，在同一时间有两节电池给电机供电。

由于Ⅱ型是在Ⅰ型的基础上做出改进，制作过程的介绍只展示不同的部分。

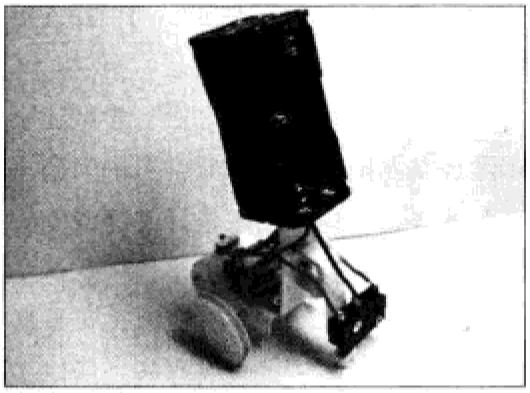
1 与Ⅰ型小车的底盘类似，Ⅱ型小车的底盘也是用2.5cm宽的PVC线槽的凹槽部分来制作，只不过更长一些，大约是3.5cm。按照图5所示的结构，根据齿轮的实际大小，在底盘上钻好齿轮轴和车轴的安装孔（需要借助尺子进行精确的测量定位），并把用曲别针制成的齿轮轴和车轴安装好，让对应的齿轮都能比较顺利地啮合。



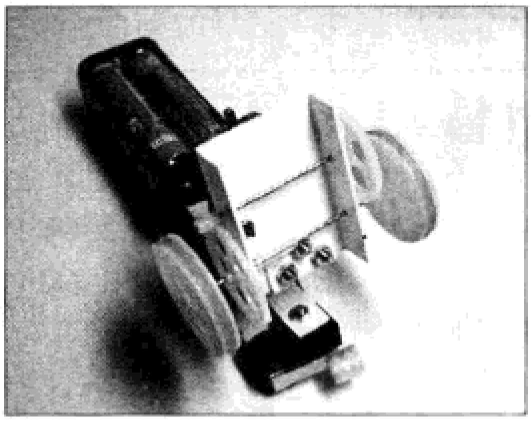
2 电机的安装也类似Ⅰ型，不过由于Ⅱ型的底盘比较长，不便在电机上再缠绕透明胶带，可以在调整电机位置，确定电机的小齿轮与减速箱的大齿轮基本啮合（不紧不松）后，在电机底座与小车底盘之间滴上一点502胶水，把位置固定下来。



3 车身支架也类似，而两个电池盒可以只用一个螺丝直接固定在车身支架的前后两侧。限位开关的传感器支架样式不变，用一颗M2×6螺丝固定在车身支架上。拨动开关这次安装在小车底盘的前端，沾少量502胶水固定好。



4 车身支架采用3颗M2×6螺丝固定在小车底盘上。



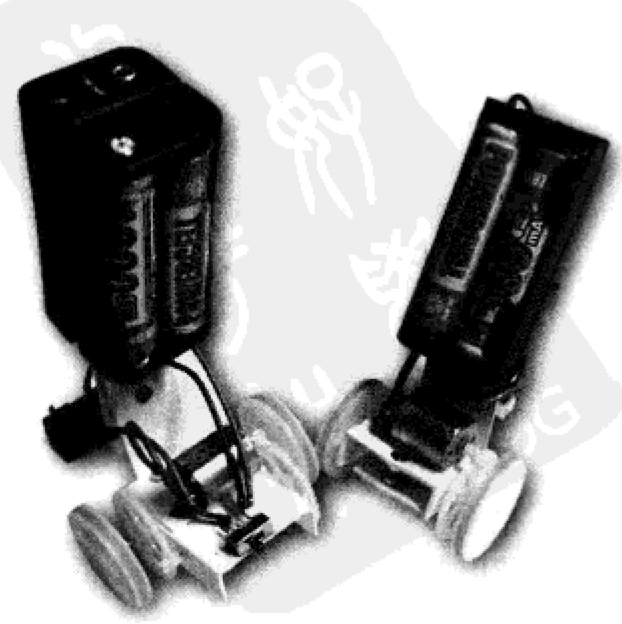
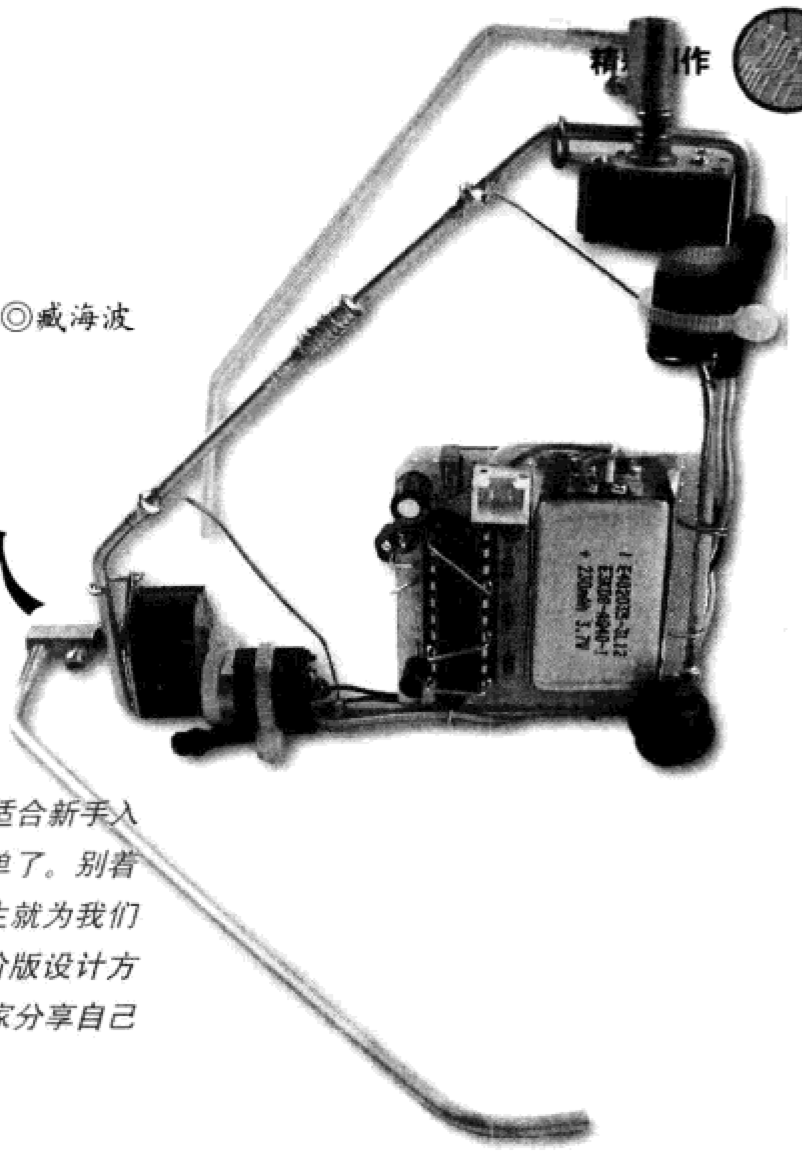


图10 PVC-Robot 9号Ⅰ型、Ⅱ型合影

比目鱼升级啦!

◎臧海波

基于74HC240的单向运动比目鱼机器人

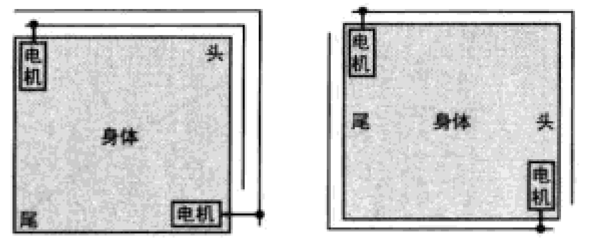


上期我们介绍的PVC-Robot 6号“光能比目鱼”是款非常适合新手入门的BEAM机器人，不过对于中高级制作爱好者而言可能太简单了。别着急，本期中PVC-Robot系列的作者Plenilune的好友臧海波先生就为我们贡献了一款运动原理相同，但设计更精巧、行为更复杂的进阶版设计方案——基于74HC240的单向运动比目鱼机器人。我们也欢迎大家分享自己的设计和制作经验。

比目鱼机器人，英文名称为TURBOT，是一种运动方式非常独特的BEAM（仿生-电子-艺术-机械）机器人，它充分体现出了BEAM机器人不拘一格的设计理念。比目鱼机器人是BEAM机器人的发明者Mark Tilden根据TURNING MACHINE理念设计出来的。TURNING MACHINE涉及到一个很大的范畴，缩小到机器人领域，用简单的一句话来形容，就是“通过机械运动的方式来描述计算机的运行效果”。感兴趣的读者可以到网上搜索更多的相关信息。

众所周知，机器人的设计和制造所涉及到的知识门类极宽，几乎涵盖了人类所有智慧的结晶。这款比目鱼机器人的设计更是体现了机械的艺术、电路的艺术、还有思维的艺术。

作为一个步行机器人，它没有采用以数字计算机为核心的机器人的设计思路，不去考虑步态、平衡、失调和算法等这一系列复杂的问题，而是采用逆向思维，反其道而行之。BEAM机器人最大的特点是它们只有反射作用而没有头脑，设计者只是赋予了机器人一定的行动能力，还有一套极其简单的逻辑判断能力，其他方面干脆让机器人自由发挥，不加任何程序的约束。机器人在行走的时候失去平衡，那么就任由它失去平衡，跌倒了就任由它跌倒，步态混乱了就任由它混乱，只要保证机器人在简单逻辑的控制下，有满足设计要求的行为就可以了。这种看似心不在焉的设计思路，却获得了极好的效果。比目鱼机器人对外界环境的变化有着较强的适应性，行动能力超出了一般水平，这是通过它特殊的几何结构和设计者赋予它的简单逻辑来实现的。



(1) 电机输出轴呈 90° 夹角排列　(2) 电机输出轴呈 180° 夹角排列

粗线为电机输出轴，与输出轴相连的中粗黑线为机器人手臂。

图1 两种常见的比目鱼机器人结构示意图（俯视图）

表1 材料清单

名称	数量
减速电机	2只
自行车条	3根
尼龙扎带	若干
曲别针	若干
接线端子铜芯	2个
M3螺母	适量
M3螺钉	适量
橡胶圈	1只
3.7V锂电池	1块
手机充电器	1只
DC电源插头	1只

制作比目鱼的骨架

比目鱼机器人骨架的制作需要较强的空间想象能力和几何构造技术，并且要有称手的工具来辅助完成制作。这是一部真正意义上的机械-电子装置，与常见的轮式机器人相比，难度一下子提高了很多，可以自由发挥的空间也增加了，个中乐趣只有亲自动手实践才能体会。

图1所示为两种常见的比目鱼机器人结构形式。比目鱼的两只电机，通常在水平面上呈90°～180°夹角排列，两只电机的输出轴各安装有一只摇臂，在电机的驱动下运转，带动机器人运动。

我开始计划使用直径3mm的黄铜棒

作主材，制作一只Steampunk（蒸汽朋克）风格的比目鱼，黄灿灿的外观将呈现出复古的美感。但是实际制作中发现黄铜棒很难加工，每次都是折弯到较小的角度时就会断裂，反复试验了几次都以失败而告终，暂时把这个方案放弃。事后查资料，据说是和黄铜棒的材质和弯曲成型时的力度有关系。现在做的这只比目鱼骨架，主材为生活中最常见的自行车条。车条的可塑性非常好，即使折成很小的弧度，也不会裂开。

这只比目鱼的骨架采用经典的TURBOT 2.0结构，两只减速电机的输出轴呈90°夹角对称放置，两只摇臂自减速电机输出轴向内交错到一起，头部做适当变形，以增加行动能力和美感。这个结构不是绝对的，DIY爱好者可以尽情发挥你的想象力，做出外观更炫的骨架。

建议DIY爱好者先去优酷网站看看我制作的比目鱼机器人的视频，对这种机器人的运动方式有个大致了解。理解了它的运动模式，对设计和制作自己的机器人会有很多帮助。视频中展示的是我制作的第一版比目鱼机器人，两只电机的夹角在160°左右。从视频中可以观察到它在自然光源和人造光源下的追光、转身、自平衡和晒背的特性。

备齐所有材料以后，建议不要急着动手，可以在纸上多画画草图，等每个细节都敲定了，再开始制作，以免浪费材料。

主框架环形封闭的地方采用曲别针缠绕车条对接的两头固定，再用75W外热电烙铁焊接而成。头部两侧对称的两根弧形曲别针，保护机器人在翻转的时候不致磕碰到电机；尾部曲别针弯制的圆环，用来固定一组螺丝、螺母和橡胶圈。借助摇臂的作用，比目鱼机器人的骨架是以一种翻滚的步态前进的，橡胶圈可以起到减少冲击的作用，既保护机器人的机芯，又防止它在运转的时候磨坏地面。橡胶圈使用的是一只从废光驱机芯小车上面拆下的减震垫，把一个M3螺母嵌在里面，可以很方便地与机器人尾部的螺钉配合，还可以微调橡胶圈的高度。因为这只比目鱼是做单向运动的，只需在骨架上与运动方向相对应的位置考虑减震就可以了。

车条和曲别针的焊接比预想的要容易，只要烙铁功率足够大，再加上一定的焊接技巧，就可以焊出漂亮的外观。在焊接类似车条、铁丝这类大型零件时，正确的做法是先用烙铁头部加热需要焊接的工件，当工件达到一定温度时把焊锡放上去，借助松香的作用，焊锡会慢慢渗透到工件的接缝里，完成后的焊点将很完美。注意在焊接时骨架会很烫，最好把它固定在一个架子上操作，我使用了一个带夹子的放大镜台来辅助焊接。焊点上黑色的松香外皮可以借助小镊子剔除，以免影响美观。

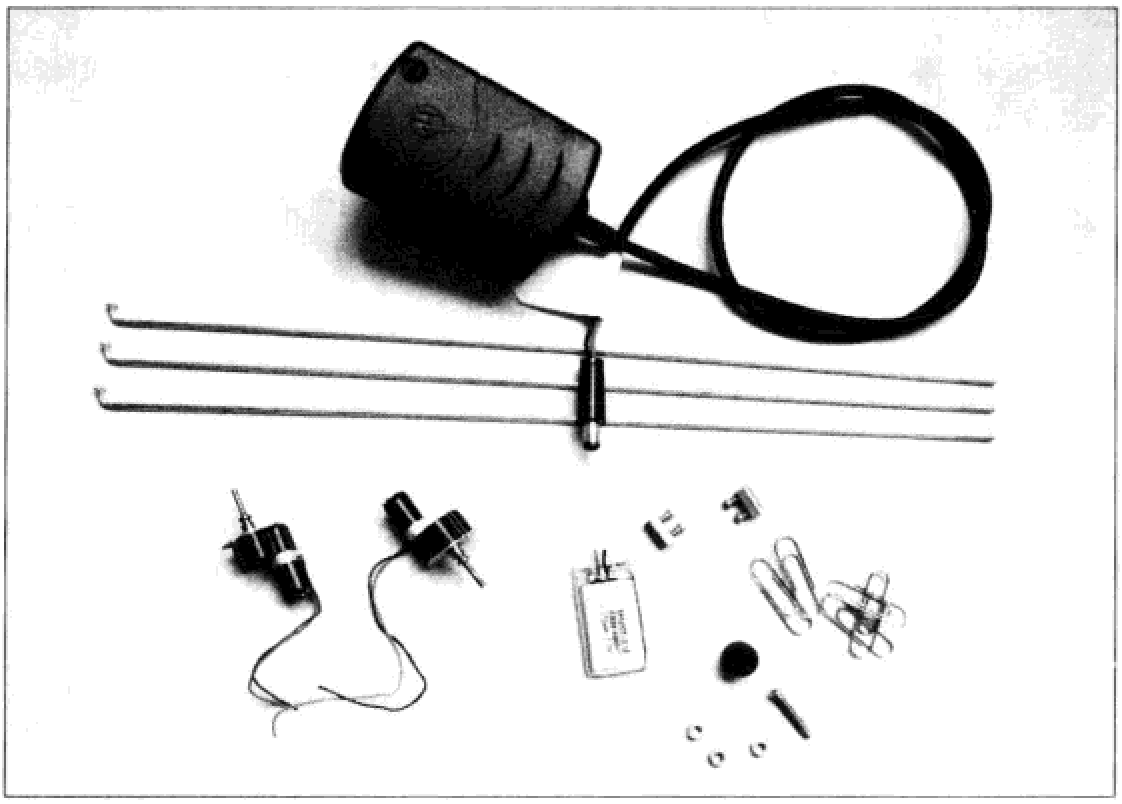
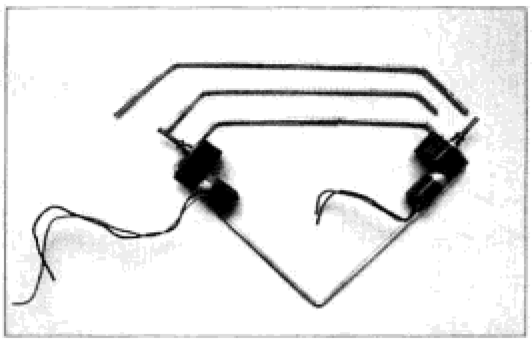


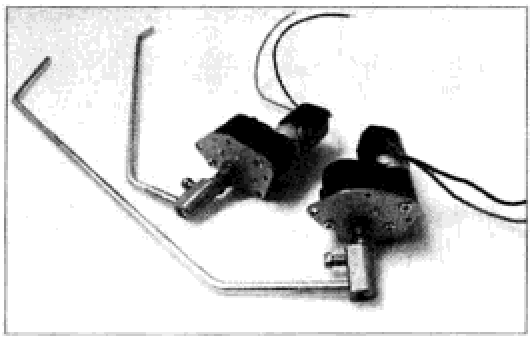
图2 制作骨架所需的材料

■ 效果视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjA0MjA4NjQ0.html

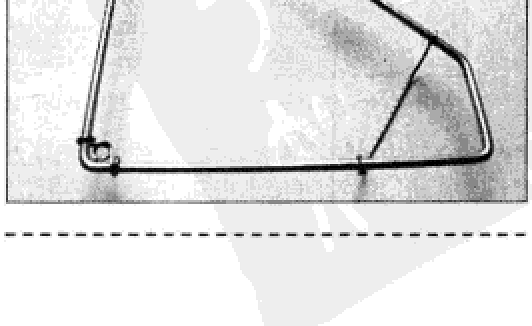
1 .借助一对平口钳，弯制出骨架和摇臂。



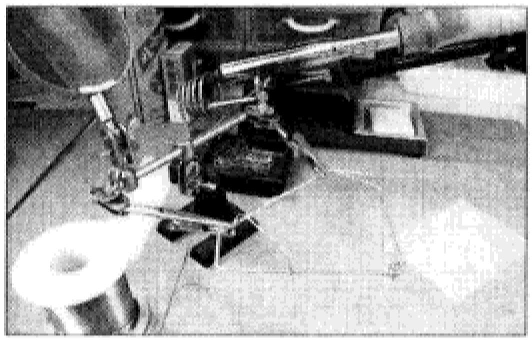
2 把摇臂固定在减速电机的输出轴上。



3 曲别针弯制的机芯保护架，安装在骨架内侧。



4 用75W外热电烙铁焊接好整个骨架。



5 制作完成的骨架，一体银色的外观看起来很漂亮。

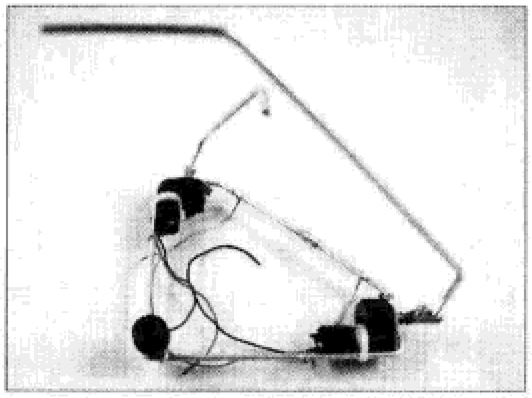


表2 比目鱼的运行状态

状态	左眼	右眼	上眼	下眼	左电机	右电机
1	亮	暗	亮	暗	停	停
2	暗	亮	亮	暗	逆时针	顺时针
3	亮	暗	暗	亮	逆时针	停
4	暗	亮	暗	亮	停	顺时针

表3 元器件清单

名称	数量
3mm光敏二极管	4只
74HC240	1只
20PIN插座	1只
3mm LED	1只
2.2kΩ电阻	1只
1kΩ电阻	2只
47kΩ电阻	1只
NPN型通用三极管	2只
细导线	若干
小开关	1只
10μF 63V电解电容	1只
M5热缩管	适量
洞洞板	1片

制作比目鱼的电子部分

比目鱼机器人有很多经典的设计，笔者采用的是一份源自solarbotics.net的经典设计，制作的是一个基于74HC240的单向运动比目鱼，电路图如图3所示。

注意机器人与纯电路不同，通常一个机器人的设计都会包括机械和电子两个部分，这两部分需要精密配合，机器人才能很好地工作。如果只有一份线路图，没有配套的机械设计和装配说明，很难理解它的整个设计思路，若想制作成功，将会是一个非常大的挑战。

通过分析图3中的线路，可以归纳出这只比目鱼机器人的几组运行状态，如表2所示。

比目鱼的电子部分非常简单，均为常用元器件，在材料的选择上要尽量小型化，电阻使用的是1/16W的，电源开关则用单片机实验上常用的短路跳线替代，图4是备齐的全部材料。整个电子部分借助一小片洞洞板制作而成，以下有几个需要注意的地方。

1. 规划好对安装方位有要求的元件。上、下两眼的光敏二极管是直接安装在控制电路板上的，左、右两眼的光敏二极管则用尼龙扎带捆绑在与之对应的减速电机的外侧，受光面朝向电机的输出轴，形成机器人的虚拟视野。

2. 4只光敏二极管都要套上热缩管，只让它们顶部的受光面可以射入光线，加强指向性，减小周围的干扰。此外，在线路中，上、下和左、右两组光敏二极管分别反向串联再并联在电源的正、负两极，入射光越大，二极管自身消耗的电流也越大，包裹以后可以减小入射光，延长电源续航时间。

3. 洞洞板上面跳线的焊接，可以灵活处理，比如有的跳线可以直接焊在74HC240芯片上，既减少了背面焊盘之间走线的数量，又增加了艺术观赏性。芯片上面焊接的交叉错落的导线，看起来更像生物的神经，使整块电路板充满了后现代的风格。在洞洞板的边沿，各留一排空焊盘，用于与骨架之间的固定。

4. 机器人的电源使用的是一块3.7V/230mAh的锂电池，取其轻巧、容量适中、充电方便这几个优点。淘宝网上有很多MP3、MP4的替换锂电池，价格一般在5~10元，注意要选择内置保护电路板的锂电池。3.7V电压已经足够驱动74HC系列CMOS集成电路工作了，230mAh的容量可以驱动这个比目鱼机器人工作1小时以上。注意，锂电池若充电或使用不当会有危险，开始制作前一定要对这类电池的性质和使用方法有透彻的了解，或者在有经验者的指导下进行操作。为图安全，比目鱼的电源也可以使用3节7号（AAA）电

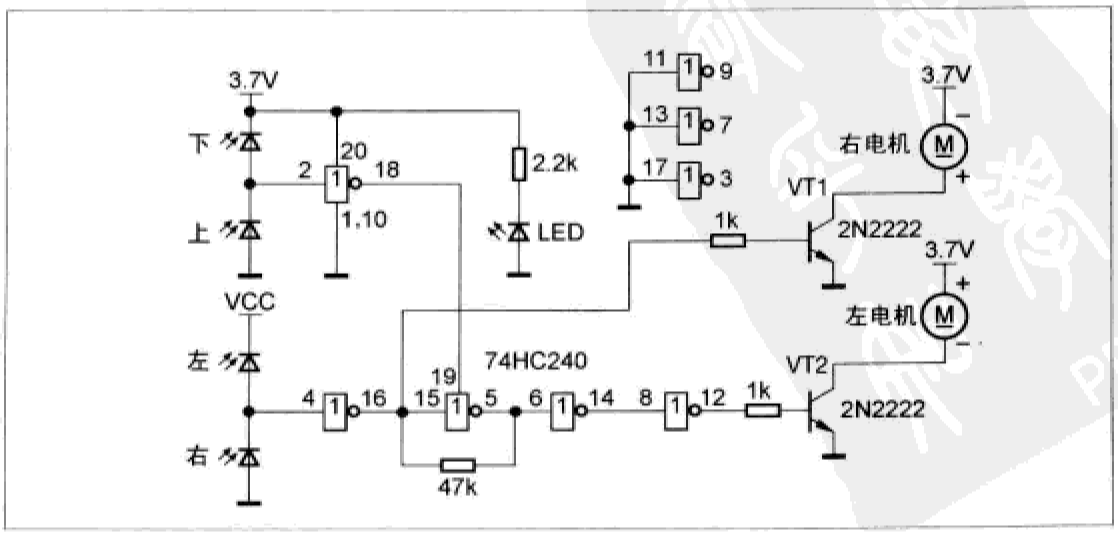


图3 比目鱼机器人的电路图

池替代。电源充电器使用一只报废的摩托罗拉手机充电器改制而成，规格为4.4V/1.1A。剪掉充电器连接手机的专用端子，找出芯线里面的直流电压正、负两极，焊在一只4.5mm插头上。

图8是电子部分装配在机器人骨架上的样子。洞洞板缺口的方向对着尾部的橡胶圈，沿骨架的直角边嵌入到车条的内侧，借助洞洞板上留出的两排空焊盘，用细金属线把它们捆绑固定在一起。至此，我的这只比目鱼机器人就大功告成了。

银色的骨架、黑色的电子元件、花色的导线，搭配在一起显得清爽干净。而整个装置特殊的几何结构，又使这只比目鱼机器人看起来带有一点超现实色彩。不要小看这区区几只元件组合起来的能力，机器人在通电以后可以产生意想不到的效果。

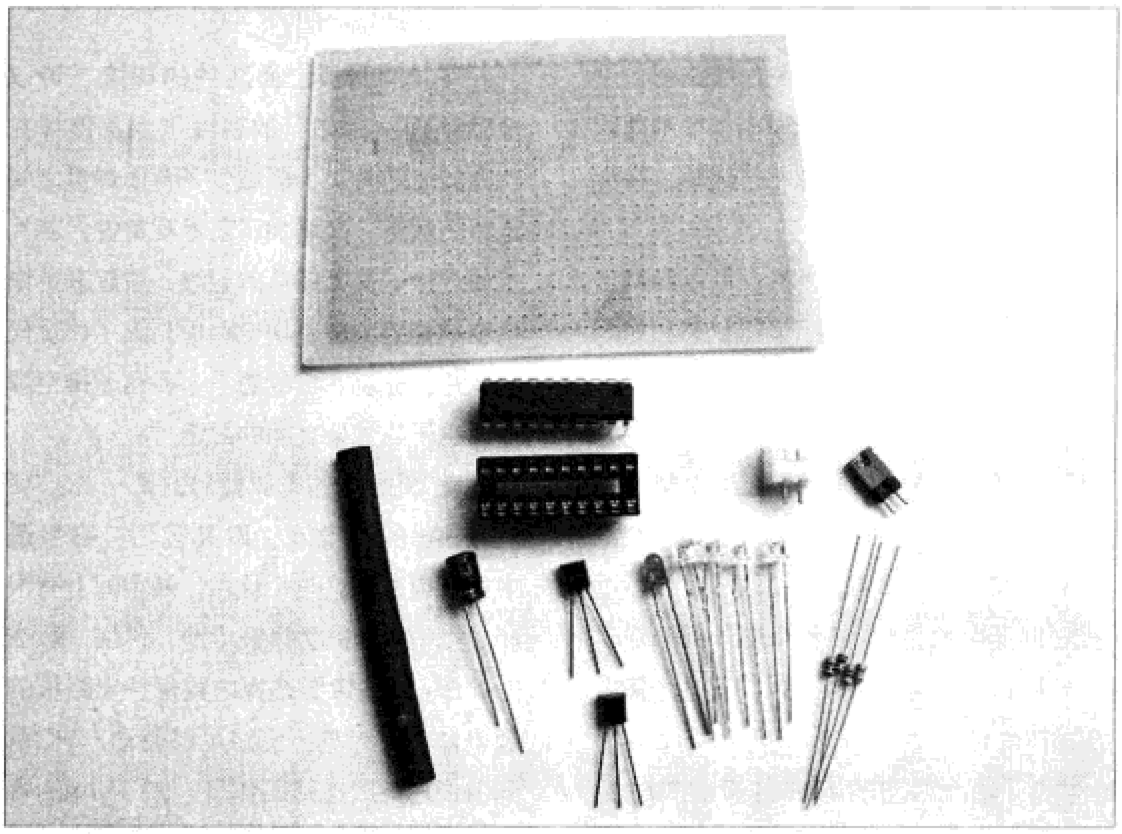


图4 制作所需的所有元器件

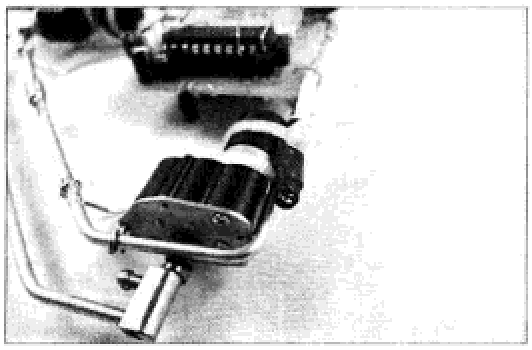


图5 机器人的左眼

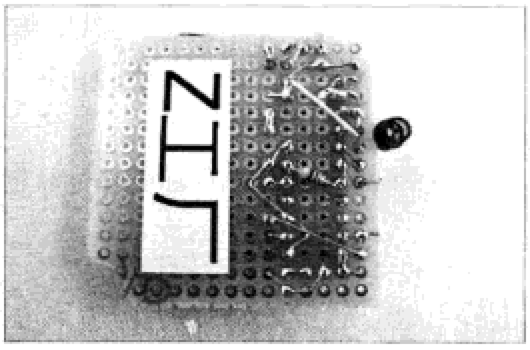


图7 图中右侧的光敏二极管为机器人的下眼

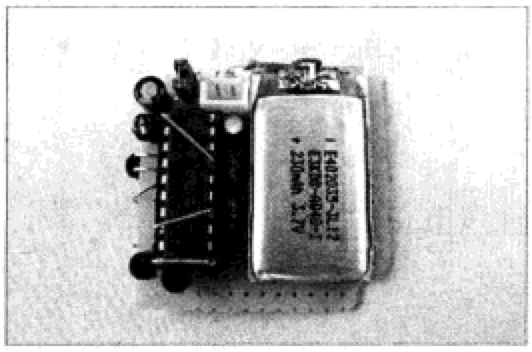


图6 图中左侧的光敏二极管为机器人的上眼

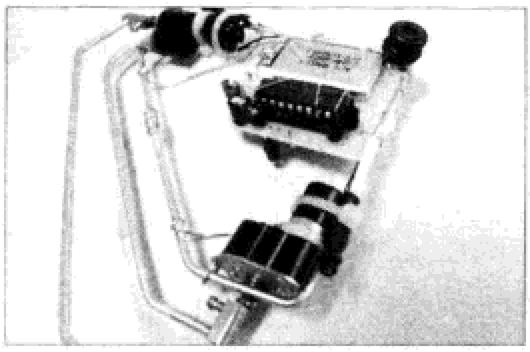


图8 把电子部分与机器人骨架组合起来的样子

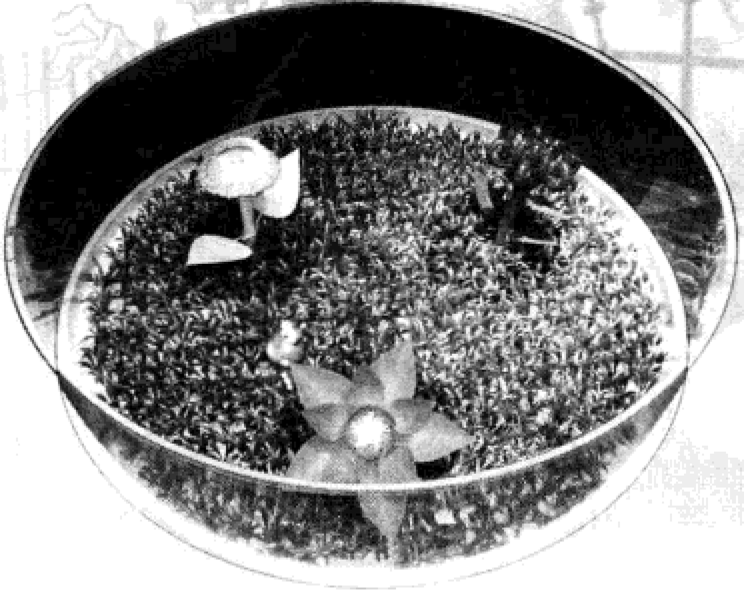
最终效果和改进想法

上文运行状态表中所列的几组状态，只是单纯从电路的角度分析出来的电机运转模式，机器人的实际运行情况会很复杂。因为比目鱼的几何结构特殊，受地面状况、骨架、摇臂和元器件差异等因素的影响，机器人运动变化的范围会非常大，呈现出多种行走姿态。受姿态的影响，4只光敏二极管的入射光也跟着不确定地变化着，再加上反相器的非线性特性进一步影响电机的转动，使机器人的行动方式充满了不可预见性。而它最终的运行效果又符合预定的设计，即追光和晒背行为。

这个比目鱼机器人最有趣的地方是它的晒背行为，每当机器人走到较强的光线下，就会以一种不固定的姿态停下来，左侧略微倾斜向着光线入射的方向静默。当它晒背的时候，如果悄悄走近它，只要有一丁点的光线变化都会再次激活这个机器人，很炫吧？

通过观察它的晒背行为，最先想到的改进方法就是在机器人背部安装太阳能电池，使它在晒背的同时给锂电池充电。

这只比目鱼是一个单方向运动的机器人，当机器人遇到障碍的时候，可以借助骨架的几何结构做简易的避障运动。但是它的摇臂在行进中遇到障碍，是不会停止的，有一定破坏力。为了保护机器人自己和它周围的物体，可以考虑给它的电机加上失速检测电路，当摇臂“抓到”诸如桌子腿这类东西时，可以自动向反方向释放。受篇幅所限，我将在以后的文章中陆续介绍这方面的知识。



机械花研发笔记

千雕万琢的机器花能大战僵尸吗?

◎机器时代

2009年，机器时代（北京）科技有限公司承接了“澳门回归10周年暨澳门科学馆新馆落成”项目中的部分机器人展项设计任务，其中3朵机器花的设计从机械结构到控制电路都比较有趣。最近机器时代决定公开一部分机器人设计资料，希望爱好者能从中学到从无到有地实现一件科技产品的设计思路。

机械花平时保持闭合状态，当有游人从旁边经过时，机械花能判断游人的到来，同时简单判断游人方位，使花茎摆向游人方向，并开放花朵，同时灯光和音乐响起，当游人走动时，机械花能摆动花茎，使花朵始终朝向游人；游人离开后，机械花收拢花瓣，恢复直立姿态，灯光熄灭，音乐停止。

结构原理

葵花的结构原理

机器时代使用了数组式的花瓣来解决运动生硬的问题。花瓣布局方式如图 1 所示。当葵花开放时，每个花瓣沿垂直方向运动轴做旋转运动，所有花瓣同时向外旋转打开，具体传动原理如图 2 所示。花瓣以垂直方向为轴，沿轴转动，实现开花和闭合，传动简单可靠。

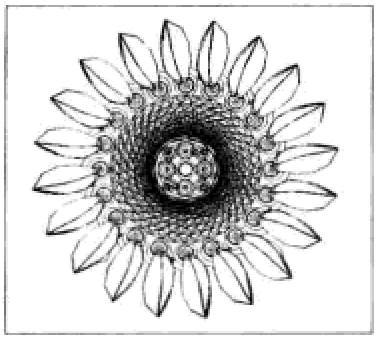


图1 葵花花瓣布局

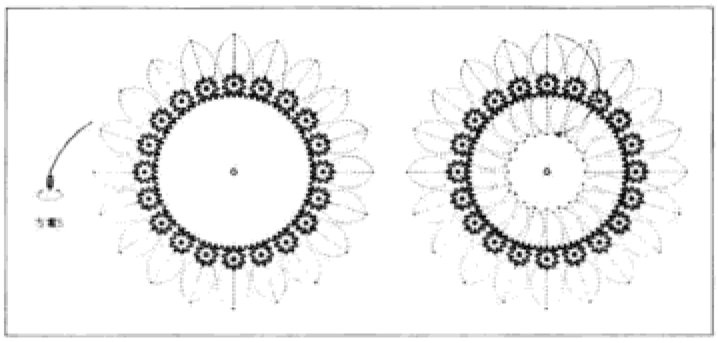


图2 葵花花瓣传动原理

菊花的结构原理

菊花花瓣也采用了等时差同步运动的推杆结构，花瓣推杆端角度偏差依次相差30°，结构如图5所示。

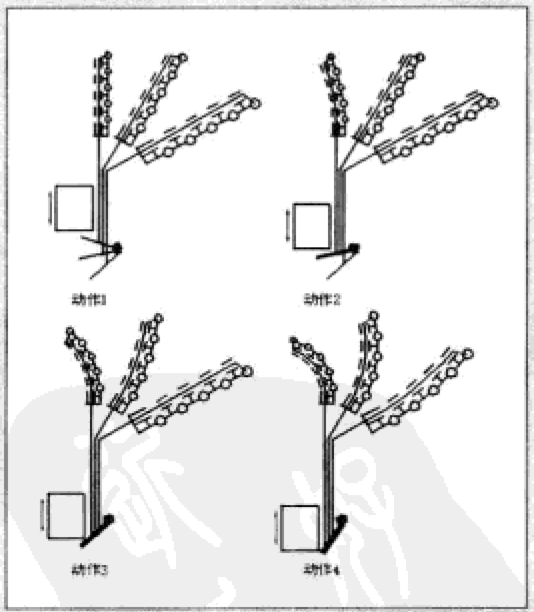


图5 菊花花瓣结构示意图

荷花的结构原理

通过分析真实荷花的形态，机械荷花方案经筛选后定为由图3所示的结构来实现荷花的运动，以多层花瓣依次打开的方法避免其动作生硬的缺点。为实现花瓣的依次打开，采用了等时差同步运动的推杆结构，结构如图4所示。具体设计是使花瓣推杆端角度偏差依次相差30°，当大花瓣打开30°后，接下来是大花瓣与中花瓣一起打开，继续运动30°后，3层花瓣一起打开。呈现出的动作就和真花开放时的动作很像，花瓣依次打开。

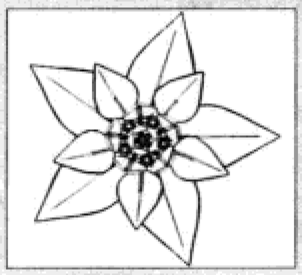


图3 荷花花瓣布局方式

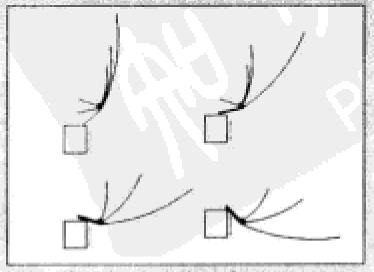


图4 荷花花瓣结构示意图

控制原理

电子硬件方案系统框图如图6所示。其中，电源设备、花瓣电机、花茎电机、手电筒、功放音箱、MP3模块均选用市场上流行、成熟的电路板或产品，以提高展品的稳定性与可靠性。感光模块、灯光模块、主控制板需为本展品进行专项设计。

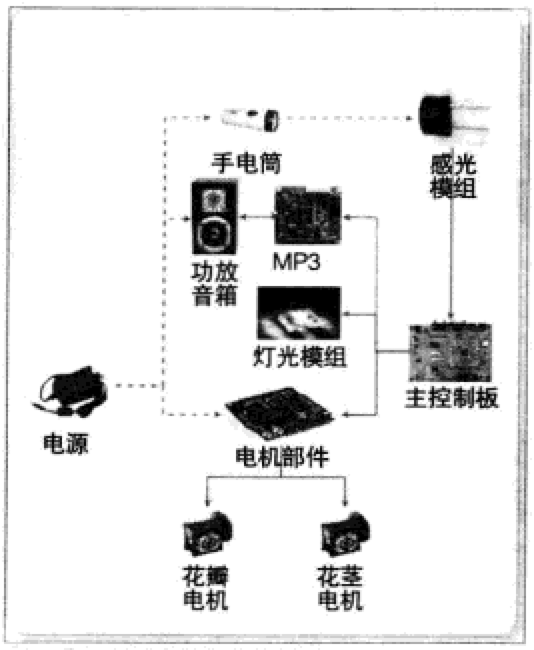


图6 电子硬件方案系统框架图

组装过程

机器花的零件全部采用透明亚克力材料加工完成，零件的设计比较复杂，除要保证零件能精确地组装到一起外，还要留下各种孔，以便管簧、钢丝和线材通过。由于篇幅所限，这里只以荷花的制作过程为例进行介绍，供大家参考。

1 荷花的花托部分由9个主要零件组成，在设计的过程中需要格外留意零件卡位、走线、支撑等问题，这里集中了一朵机器花的几乎全部看点，如最出彩的花瓣机构、灯光效果，以及传感器，在游客雪亮的眼睛下，容不得半点马虎。所有的支架除了有结构功能之外，还要有外观功能。而那颗花心同时还是一个活塞，惊艳的开花主要靠它了。

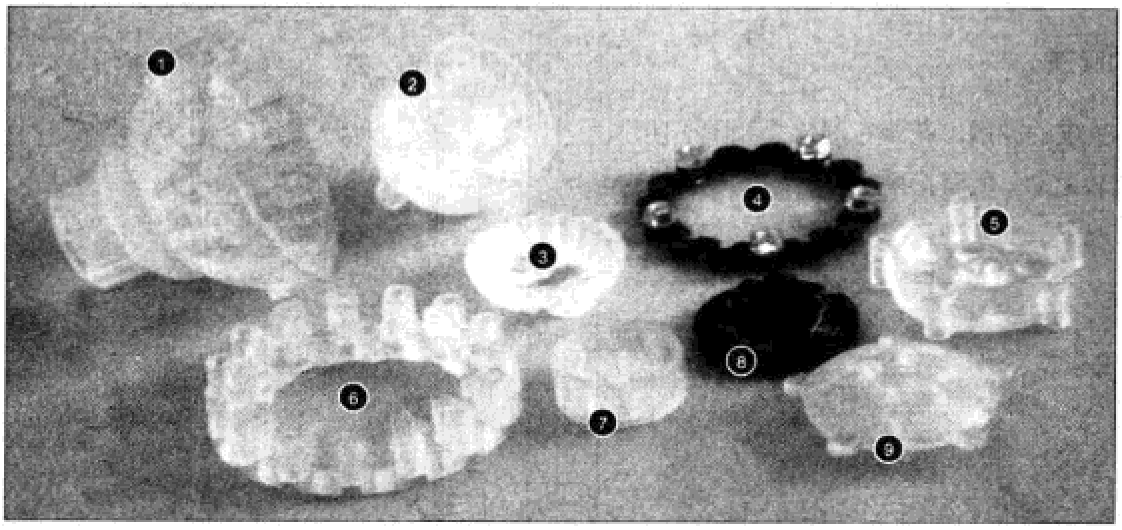


图7 荷花花托部件

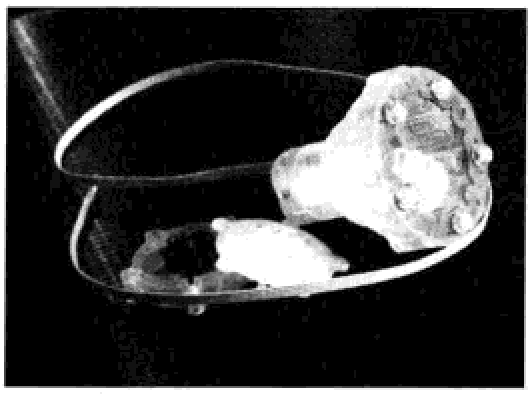


图8 组装好的花托

1. 主支架
2. 活塞花心
3. 线材固定件
4. LED
5. 传感器容器
6. 花瓣支架
7. 顶端花茎
8. 传感器
9. 传感器容器盖子

2 荷花的花瓣是3种花中最复杂的，这种花本身花瓣就层层叠叠，开放的时候一层一层地张开，大家都见过，这在设计的时候是必须注意的，要生动形象，所以零件也比较多。花瓣部分的零件分为大、中、小3种，各5瓣，越往中间越小。花瓣底部都安装了小扭簧，用以协助控制开放和闭合。

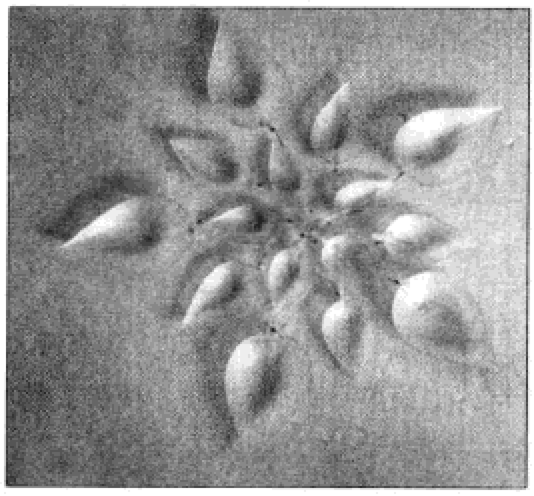
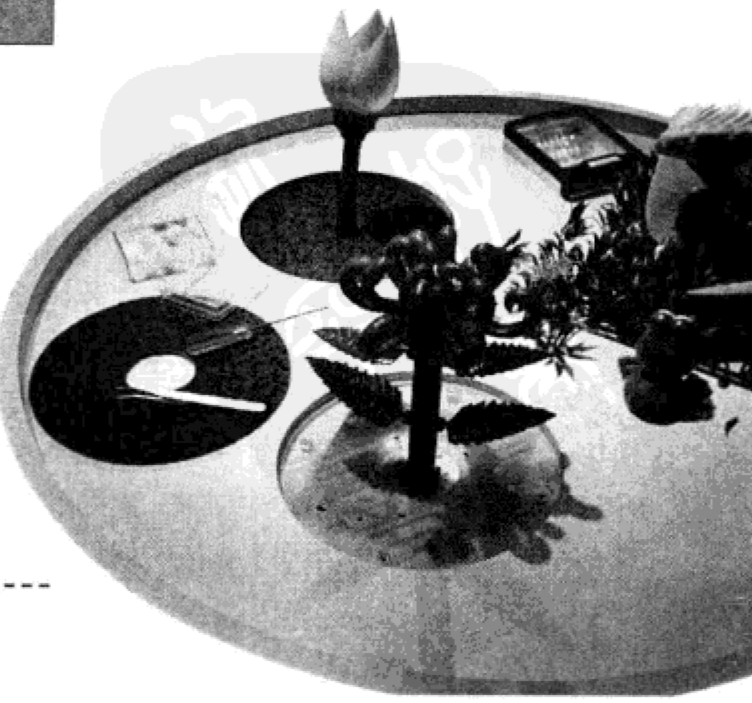


图9 荷花花瓣部件

图10 锁上花瓣



3 花茎的零件都设计成大小形状相同的一种，比较短小，相互之间可以搭扣在一起，形成一条长长的、松软的茎秆。零件上开了4个小圆孔，用以通过钢丝，开了2个异型孔，用以通过线材，中间还有一个大圆孔，用以通过管簧，管簧中再穿过一根钢丝。花茎的摆动和花瓣的开合，都是依靠这些钢丝来控制的。

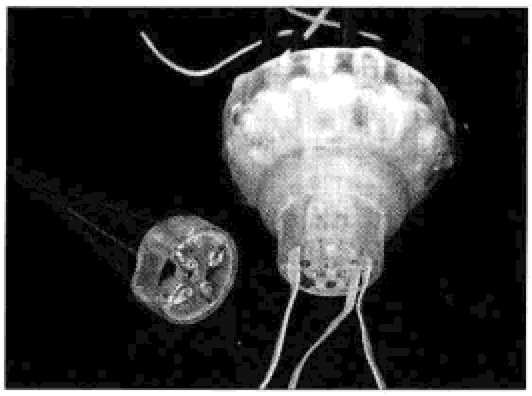


图11 花茎连牵引钢丝锁在花托上

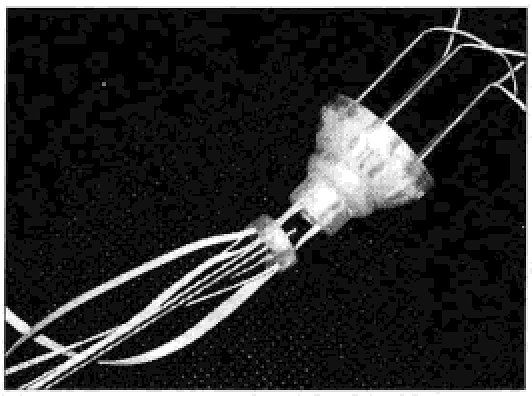


图12 花茎中间大拉簧跟进

4 所有的钢丝全部通向底座部分，每两个钢丝由一个舵机控制，穿过中间管簧的钢丝单独由一个舵机控制，因此底座里装的是3个舵机。这种设计方法，可以很好地隐藏驱动部分，让露在外面的部分全部是需要表现的部分，不会有黑黢黢的舵机出来大煞风景，破坏整体视觉效果。通过对舵机的灵巧控制，可以完成所有动作，有兴趣的朋友可以回去试一下，这种控制方法的用途远不止这一处，后来我们在多次设计中都用到过。

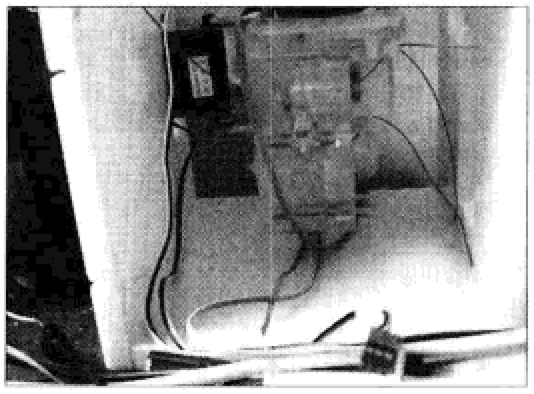


图13 把牵引钢丝锁在电机上

5 荷花初期组装完成后基本是这个样子，所有的控制部分、线材等，都被隐藏在机器花下面的白色盒子里，只露出晶莹剔透的外观，非常简洁、美观。

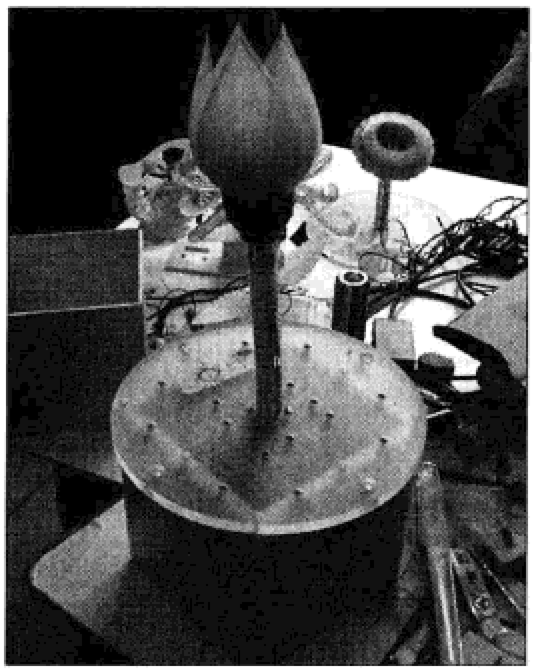


图14 完成花茎和底座的安装

6 喷完漆的效果如下，像不像一朵真花呢？

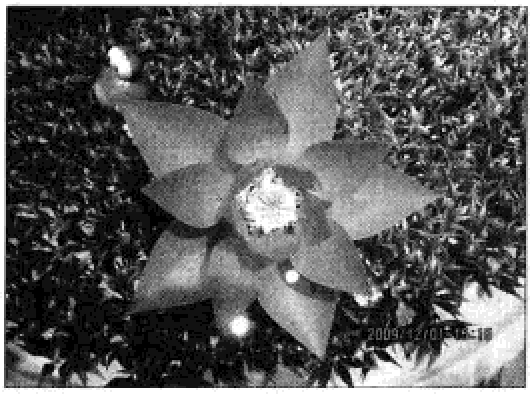


图15 机器荷花的最终效果

项目总结

这个项目主要的亮点在于开花的方式：荷花的花瓣由外到里依次张开，层次分明；向日葵的花瓣旋转开放、整齐划一；菊花的花瓣卷曲自如，像是柔软的触手。视觉效果都非常棒，很好地体现了科技、艺术、自然的完美结合。

其次的亮点在于结构上采用拉线设计，避免了一关节一电机的设计，尽量用机械结构的巧妙设计来完成大部分运动功能，大大减小了程序开发的工作量。项目后期还对设计做了改良，将隐藏于花瓣中的传感器模块做了分离，使用红外测距传感器改装在了展台四周，这样检测效果明显更好。机器时代公开这个项目的资料，是希望能和大家多多分享，为喜爱动手制作的朋友提供资源，促进交流，欢迎朋友们借鉴。如果有朋友想DIY，而加工条件又不够的话，不妨尝试对某些结构部分进行一些简化。比如花托，如果不需要传感器和内置LED，两个大零件基本够了；再比如花茎，如果要求不高，一根直杆儿也是可以接受的。

■ 效果视频：http://www.tudou.com/programs/view/Qak1KKkMY1E/

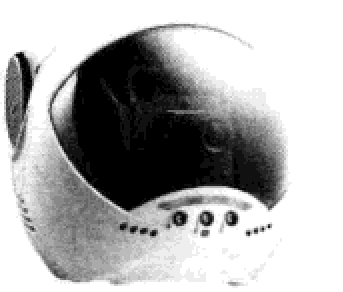
■ 源程序可以到《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）下载

机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

和宠物一样的看家机器人

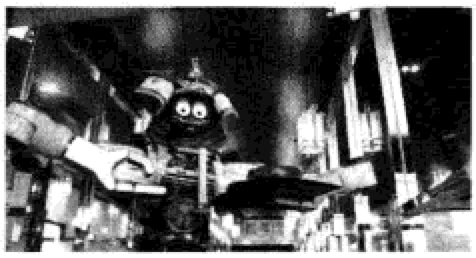


如果你工作很忙，没法经常在家里关照自家的爱宠，那么你可能会看上日本SoftBankMobile公司的看家机器人。它可以代替你的双眼，让你在不在家时也能够时刻监控到家里的每一个角落。

这款名为“**みまもりカメラ**”（意为看守摄像头）的机器人，其实就是一个远程摄像头，只不过它可以在家里四处走动，以猫或狗这样的视角进行观察，并能够以该视角拍摄640×480的照片或是176×144的视频片段。既然说是远程摄像，那么它就要有接受控制的能力，这个控制可以通过手机来完成。用手机登录它的系统，你就能控制它的行动，并让它把你感兴趣的照片通过彩信发回你的手机。听起来相当不错，似乎还能拿来做点别的事情。它具有动作捕捉能力，能将视线保持在爱宠身上，并通过传送图像到手机，向主人反映宠物的动向。

“**みまもりカメラ**”有两个型号——SoftBankZ001和SoftBankZ002，除了配色分别为灰白和银灰之外，外观设计上也有所差异。

泰国一餐厅机器人服务员走红



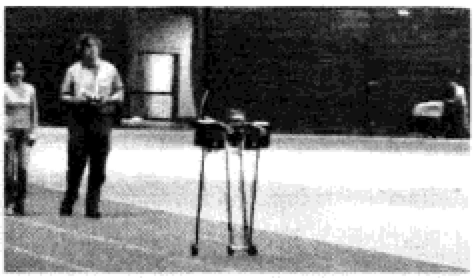
泰国首都曼谷市郊有一家餐厅备受欢迎，它的特别之处是使用两个机器人端盘上菜。这家日本风味餐厅是泰国首家使用机器人的餐厅，两个机器人“雪莱”和“猜永”身高近1.8m，身着日本传统服饰。

这家餐厅设计精巧，有利于机器人提高工作效率。所有餐桌被摆成两个窄长的椭圆形，每个椭圆形的中央是机器人活动的直轨道。当收到客人点餐指令后，机器人从前端的厨房取菜，然后沿着轨道移动，把菜肴送至左右两边的餐桌。为避免客人触碰到机器人，餐桌和机器人轨道之间还特别设置了活动玻璃。当机器人经过时，玻璃抬起，当机器人离开后，玻璃自动降下。

有了机器人服务员，餐厅人工服务员则更多地投入到及时结账、教客人使用电脑点餐等工作。“两个机器人承担了普通餐厅10名服务员的工作量。以后我们还会升级机器人智能系统，让它们从服务员升级为厨师，亲自为客人烤肉。”店长尼塔雅说。

据介绍，雪莱和猜永均购自日本，每个价格约为500万泰铢（约合107万元人民币）。餐厅自去年3月开张以来，已有数以万计的食客前来体验机器人服务。

美国步行机器人持续行走65km打破世界纪录



美国康奈尔大学的工程师研制的“游侠”(Ranger)步行机器人在充电一次的情况下，在康奈尔大学的体育馆里以2.1km/h的速度通宵不停地行走，一共走了307.75圈，每圈210m，总行程65km，用时30小时49分2秒，中间没有停顿，甚至人类接触，创造了世界新纪录。

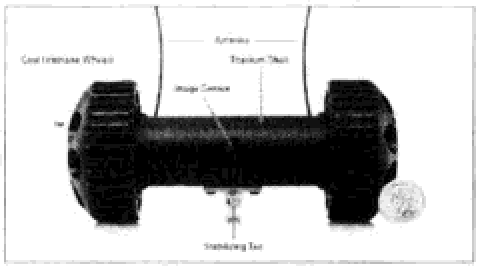
机械和航空航天工程学教授安迪·鲁伊纳是制造“游侠”的工作组负责人，他表示，该项目的目的，是通过彻底改造它来了解机器人的行走模式。然而要模仿人类的基本动作——行走，需要具备大量工程学常识。“游侠”拥有6个小型机载电脑，执行大约1万串电脑编码，每1/500秒重复运行一次。这个机器人的总重量是10kg，其中2.7kg是为电子仪器和发动机提供能量的锂离子电池的重量。它的一个发动机负责外踝伸展，另一个负责内踝伸展，第3个负责腿部摆动，第4个较小的发动机负责腿部向内侧弯曲。这些发动机总耗电量大约是11.3W，电子产品耗电4.7W。

大部分两足机器人都用扁平足站立，但“游侠”根本不能直立，它像人类一样通过降低重心迈步。鲁伊纳说：“我们面临的一大挑战是在降低能耗的同时，让它保持身体平衡。这次我们取得的巨大成就是它连续走了186076步，只用了5美分的电，而且中途没有摔倒。”

美国推广可抛掷侦察机器人

美国军队利用一种小型、可抛掷机器人进行侦察已有数年，如今美国联邦通信委员会（FCC）通过了一项决定，美国国内的执法人员和消防队员也可以在执行任务中使用这种小家伙。这种机器人长20cm，仅重0.5kg，侦察本领了得，可以像扔球一样把它扔到屋顶或建筑物附近。它配备有摄像机和滚轮，其设计可保证机器人在着陆后保持直立，几乎可以适应任何情况，只要接触的是平整的表面。

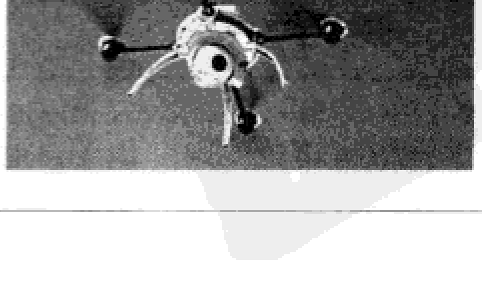
经过部署后，这种机器人能在建筑设施、汽车等物体的掩护下悄悄移动，并将拍摄的录像传回300m外的指挥所。机器人由一名操作员通过简单的遥控器进行控制，遥控器上的小型显示屏可显示机器人的视野。据悉，这种小巧、耐用、易于操作，且配备视频功能的机器人将在今后广泛应用于执法及消防领域。



加拿大公司研发飞行机器人

这款由加拿大艾伦公司研制的飞行机器人名叫“侦察员”，它装备了世界上最先进的情报监测系统，可以用于跟踪罪犯，以及暗中监视公众活动。这款造价约3万英镑（约合31.6万元人民币）的“侦查员”飞行机器人采用触屏控制器，使用者只需用手指在屏幕上点出谷歌地球上的目标位置，“侦查员”就会以48km/h的速度飞向该地区，之后在使用者的iphone上进行高画质实时影像的播放。

“侦查员”的最高飞行高度可达152m，它配备的监控探头能够对300m以外的目标物体进行放大。此外，艾伦公司还给“侦查员”装备了4个转子叶片，以确保在飞行期间保持安静。这意味着“侦查员”可以在不被人发现的情况下完成情报采集任务。艾伦公司称，“侦查员”飞行机器人绝对是当今世界上最先进的空中情报采集工具。

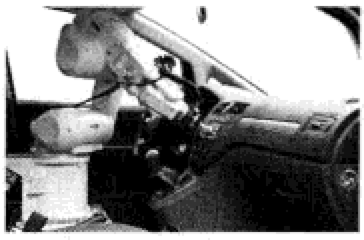


NASA宣布放弃精神号火星探测车

自从去年1月精神号进入火星冬天以来，又过了一年半的时间。这当中火星的严冬来了又去，但NASA本来期待在火星春天来临后精神号可以充饱电力，但显然精神号在寒冬中有某些重要的器材受不住寒冷而故障，精神号因此一直没有再和地球联络过。NASA表示已在5月25日结束所有与精神号之间的联络，在实际上意味着精神号7年任务的结束。不过NASA的主管DavidLavery并不认为这是个失败，毕竟两台探测车的设计寿命都只有90天，能到91天都是赚到了，何况是7年。

精神号的兄弟机会号仍然在火星的平原上奔驰着，朝着遥远的目标前进，同时一架新的大型核动力探测车Curiosity也将在今年稍晚的时候出发。核动力可以避免精神号和机会号遇到的沙尘暴和火星冬天时阳光不足的问题。就算精神号已经没了音讯，精神号的探险精神也将继续在火星上延续下去。如果有朝一日人类真的到达火星的话，或许我们应该把精神号带回来。

福特RUTH机器人高度模拟人类感知



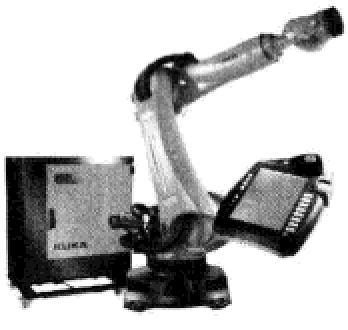
触感机器人RUTH由福特汽车研发，旨在兼顾电脑对细节的关注和人类靠触感对质量的认知。在位于德国亚琛的福特汽车欧洲研发中心，工程师们使用RUTH对车辆内部进行微调，包括功能键的触感和操作，以及内饰用料的质感和统一性。

通过将人类感知和机器人精密测试相结合，RUTH能分辨人手对触感的评判。RUTH可以借助数据来预测新组件对消费者的吸引力，它的细致入微和一致性为福特专家的主观判断提供了支持。

为了准确模拟人类的触感，福特工程师为RUTH开发了专属附件，如机器人手指就可以准确模拟人类对摩擦和粗糙感的认知。福特的工程师还为RUTH配备了新型工具，以测量表面温度并确定人手对该温度的感知。

虽然RUTH可以像人类一样处理触感，但机器人在外形上与福特欧洲研究中心的工程师相去甚远。紧凑的机械臂上有各种灵活的关节，从而精确定位各种工具和手指。此外，有些手还可以安装在头部，以方便操作。这使RUTH可以像福特车用户一样感知汽车内饰并进行准确解读。

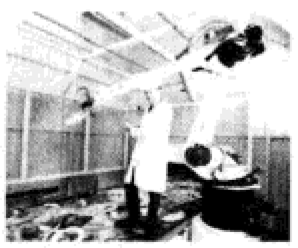
库卡机器人亮相2011埃森展



全球领先的工业机器人供应商之一德国库卡（KUKA）公司参加了于6月2日至5日在上海新国际博览中心举办的第16届北京·埃森焊接与切割展览会。此次展出的库卡机器人有同步协调工作柔性焊接单元，包括了两台库卡KR16-2和一台库卡KR5Arc，具有机器人动作实时同步协调、生产节拍快、系统柔性高的特点，适合多元化产品。KR16-2是一款低负荷机器人，最大工作范围为1611mm，有效负荷能力为16kg，用途广泛、应用灵活，尤其适合加工工业的绝大多数应用领域。KR5arc是库卡机器人系列产品中最小的机器人，最大工作范围为1412mm，其5kg的负荷能力尤其适用于完成标准弧焊工作。库卡公司还在展会现场进行了动态电阻焊以及焊接补偿的演示。目前库卡的机器人技术和工艺技术已覆盖了整个焊接工艺链，从弧焊、点焊、到激光焊等特种焊接。

本次展览还展出了由线性滑轨和铰接臂机器人组合而成的龙门架机器人系列，其工作空间特别大且特别灵活，在此，各种不同类型的加工流程均被扩展，以实现机器加工和物料搬运的自动化。

芬兰机器人帮你分拣垃圾



多年来，我国一些城市垃圾分类投放的执行效果并不理想，其中的原因之一是人们分不清手中的垃圾究竟该往哪种垃圾箱中扔。在芬兰，研究人员为了解决人们的这种困惑，开发出一种可以将垃圾自动进行分类的机器人。

有了垃圾分类机器人，居民就不必为垃圾进行分类的问题烦恼了。它们能在众多垃圾中识别出可回收利用的物品，并将其分类。这种机器人的构造相对比较简单，由机器臂和一台电脑组成。但是，它所依靠的智能程序和传感器阵列则比较先进，能够识别不同的材料。它可根据安装在垃圾入口的传感器阵列传来的数据，从成堆的垃圾中分拣出可回收利用的材料，如金属、混凝土、木材和塑料等，并进行分类。

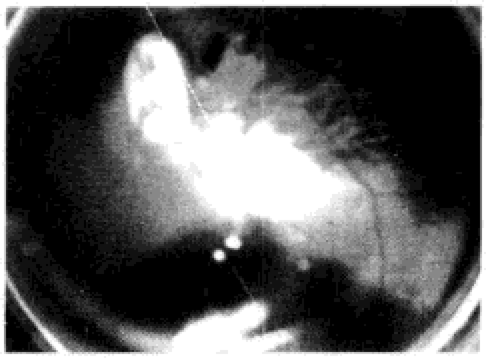
操作时，需分拣的废品被放在传送带上，垃圾分类机器人的机械手将其拿起并进行分析。它的机械手十分灵活，可以抓握各种形状的废弃物。如果识别出是可以回收的垃圾，机器人就根据垃圾的种类将其放置到不同的滑道上，让这些垃圾滑向不同的回收装置中。没有被机器人选中的就是不能回收的垃圾，它继续留在传送带上，最终被填埋。

垃圾分类机器人的分拣系统由现成的工业机器人部件组装而成，并可添加新的检测装置，从而进一步提高这种机器人识别和分拣的成功率。芬兰回收和垃圾处理公司在建筑工地上进行的测试显示，垃圾分类机器人的工作性能良好。

眼睛中的微型投药机器人

这台投药机器人绝对能让人眼见为凭，因为它就在眼睛里。

位于瑞士苏黎士的机器人与智能系统研究院里的一支由MichaelKummer领军的研究团队，目前正在研究一种能够漫游在眼睛里，准确对患部进行投药的微型机器人（就是图中正上方那颗小小的长方型黑点）。这个小机器人极其微小，用注射的方法就能植入眼球，然后通过磁场来对它的行动进行控制。尽管这项研究目前还在相当初期阶段，不过研究人员相信这项技术未来能被用于精确定位投放药物，用来治疗像是黄斑部变性之类的患者，让更多的人能够继续看见这个美好的世界。



机器人自建词汇表与同胞交流

一个会说话的机器人已经不是什么新鲜事儿，但日前澳大利亚科学家研制的会说话的机器人却再次吸引了大众的目光，因为它们很可能是截至目前“最能说”的机器人。

这一对特别的机器人由昆士兰大学开发，名叫“语言机器人”（Lingodroids），项目主任舒尔茨把这种机器人比作一台有轮子的笔记本电脑，只是这种特殊“笔记本电脑”的每个车轮上都配备声纳、摄像机、激光测距仪、话筒和扬声器等“秘密武器”，正是这些“秘密武器”让它们在玩“我们在哪儿”的游戏时，能向对方准确描绘出它们所处的环境。

即使在迷宫一样的办公环境里，这种机器人也能通过自身发出的“飕飕”的声音彼此吸引，一旦处于可互相听到的范围，它们便会改发“哔哔”声。

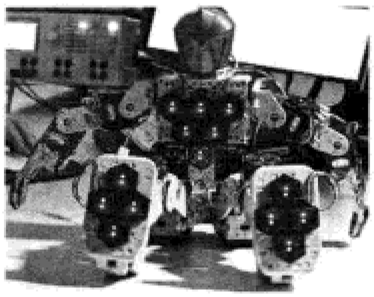
据介绍，“语言机器人”之所以能通过鸣叫沟通，是因为它们内部有一个词汇表。通过这个词汇表，它们能把自身在办公室里的各个角落获得的“经验”（其实就是数据）和已知的地名联系起来。当一个机器人发现了一个没有名字的区域，它就会随机生成一个新词。在交谈时，它会告诉其他机器人这个区域的信息，包括为这个区域而新造的词。就这样，在机器人间得到“公认”的词汇表就慢慢地建立起来。截至目前，这种机器人语言包括了如“pize”、“jaya”和“kuzo”等词。学界人士称，这项研究已然站在机器人研发领域前沿——仅仅通过它们自己的语言，一个“语言机器人”就可以引导另一个“语言机器人”到达指定地点。

机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

德国研制出电子皮肤，让机器人有真实触感

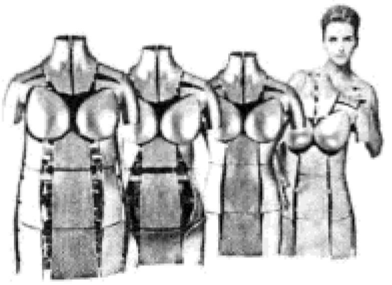


德国科学家开发出一种能让机器人产生多种感觉的电子皮肤，它们能收集触觉信息，作为对从摄像头、红外线扫描仪收集来的“视觉信息”的补充。这种“皮肤”不仅能够帮助机器人更好地适应周围的环境，也能使其获得实时的“自体感受”。目前这种电子皮肤的原型已经在一个机械臂上获得了应用。

负责该项研究的德国慕尼黑工业大学科学家菲利普·迈特纳多佛和他的同事设计了一种只有5cm²大小的六边形电路板，以此作为机器人皮肤的基本模块。每一块电路板上包含4个红外传感器，6个温度传感器和1个速度传感器，这些传感器能“察觉”到1cm范围内的任何物体。此外，这种电路板上还留有一定的扩展空间，可供以后加入如包括压力传感器在内的其他功能的传感装置。在实际应用时，将这些“皮肤模块”像蜂窝一样拼接起来，就能构成面积较大的电子皮肤。

这些传感器的作用与人体皮肤表面的汗毛有些类似，它使机器人具备了一种“无意识回避”功能。例如，当机械臂不小心碰到某一物体时就会迅速收回，而后机器人会通过视频装置搜索环境，重新判断更适宜的接触点。这种能力对在不断变化的环境中为人类服务的机器人来说尤为重要。此外，这种功能还能让机器人的四肢运动更为精确，行进更为稳定。

机器人模特模拟不同体型虚拟试穿



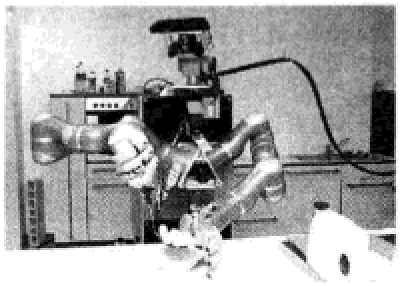
日前，爱沙尼亚一家公司最新推出“网络机器人模特”，掀起了网络购买服装的新时尚。这种机器人模特可由购物者选择不同的体型，从而实现购物者虚拟试穿。

“Fits.me虚拟更衣室”是一家爱沙尼亚公司，该公司老板海基·海尔德雷（Heikki Haldre）是此项最新技术的研发者，他说：“我们最新推出的FitBot机器人模特可模拟任何尺寸的女性身材，这将使女性在通过网络购买衣服时更加自信，而且无需退货。”

FitBot机器人由柔软的面板构成，经过移动变换可形成从纤细至肥胖的数千种不同体型。

Fits.me公司称，去年就出现了男性机器人模特，但并不适合女性。女性的身材曲线、臀部和胸部尺寸的复杂性，使得女性机器人模特的设计更加繁琐。Fits.me公司会拍摄机器人模特试穿衣服的照片，发布在相应的商品库存中，便于网购者查看、选择。遗憾的是，购物者不能实时地看到机器人模特更换衣物。

会“自学”的机器人合作做早餐



德国慕尼黑工业大学最近公开的一段视频显示，两个机器人——罗西和詹姆斯一起合作，给研究人员准备早餐。

詹姆斯是一款由美国威罗加格公司制造的PR2机器人，该机器人可避开障碍物，往返于大门和煎锅之间。罗西是由德国慕尼黑工业大学研制的一款机器人，它将帮助推广普及个性化机器人设计。

在演示中，罗西正在处理未煮过的巴伐利亚香肠，并将香肠放入沸水中，之后再放入一个容器中等待烹饪。罗西能够识别壶罐和碗的3D模型，从而能够在桌面的任何位置发现它们。这款机器人使用扭矩传感器来解决深度测量问题，从而可以将香肠放入沸水容器中。其间詹姆斯也没有闲暇，它正在忙碌地使用一个电子面包切片机切一个法国长棍面包，计划将烹饪好的香肠制作成美味的三明治。之后詹姆斯模拟完成一个购物任务，将“选购”的货物带回家，然后将它们放置在正确的位置。据悉，这两款机器人具有如下几个共同点：基于机器人操作系统（ROS），可基于全方位移动底盘移动，使用Hokuyo激光传感器和Kinect 3D传感器探测目标。

罗西和詹姆斯之所以拥有“自学”能力，是因为研究人员利用复杂运算法则，“教”它们掌握感觉、操控和推理能力，让它们能从失败中吸取教训。这种新技术让机器人向拥有自我意识迈进一步，与人类更加接近。

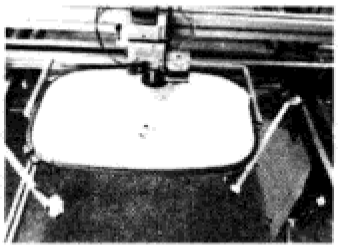
武汉纺织大学发明十字绣机器人

手工刺绣也能工业化生产？武汉纺织大学机械电子工程专业的5人团队发明了一款能绣十字绣的机器人，填补了我国十字绣专用机械领域的空白。据悉，该发明在刚刚结束的湖北省第8届“挑战杯”科技竞赛中获得了一等奖。

十字绣是近年来十分流行的一种手工工艺，但由于传统绣品都是手工制作，成本高昂，虽行业规模不断扩大，但利润在逐年下降。吴雷和他的团队决定发明一种特种机器人来代替手工进行绣制，让十字绣走向工业化。

据介绍，十字绣机器人与目前国内的绣花机不同。后者采用电脑绣花，绣品背面会多出底线，且并未按照十字绣布的网格确定走线方式，只能算“仿制”。而十字绣机器人有两根机械绣臂，可上、下两面绣制，达到“以假乱真”的效果。

此外，这款机器人采用电脑界面化操作，体积小、重量轻，除工厂外，还能在工作室及家庭应用。



机器人模仿大师画肖像

随着人工智能的发展，机器人在越来越多的领域崭露头角，如今有这么一个机器人，它开始进军艺术领域了。英国伦敦大学金斯密斯学院近日展示了这个会画画的机器人，确切地说，它还只是一个机械手臂。

在伦敦大学计算机系的帮助下，艺术家Patrick Tresset开始训练这个机器人绘制人物肖像。这个机器手臂拥有一个连接至大脑的眼睛，对Tresset的绘画过程进行观察后，它就可以模拟其动作和绘画手法，并且通过不断练习完成肖像画，颇有达芬奇风范。

项目负责人之一Fol Leymarie教授说：“虽然这款机器人仅能绘制局部面部，但它的知觉系统和其他神经生物学系统已达到一定先进水平，我们还结合了先进的计算机硬件、计算机视觉系统和人工智能，它已具备艺术家人物肖像素描技能的辨识和认知水平。”

世界首个拥有“肌肉骨骼”机器人问世

苏黎世大学的科学家最近开发出了全世界首个拥有肌肉和骨骼系统的机器人，名为“Ecci”，它是目前全世界最先进的机器人之一。“Ecci”是“Eccerobot”的缩写，其中的“Ecce”在拉丁文中的意思是“看呀”或者“瞧”的意思。

根据设计，Ecci使用一系列电动来驱动身体各个关节运动。而一台充当其大脑的计算机则能够在自己所犯的错误中进行学习。如果某一运动导致它摔了一跤，或者掉落手里拿着的东西，它的“大脑”就会收集这些信息并进行分析，以避免下次再犯同样的错误。除此之外，尽管只有一个眼睛，但是它也拥有和人类类似的视觉功能。

苏黎世大学人工智能实验室的主管罗夫·佩弗表示，Ecci的发明有利于科学家研究人类运动组织如何运作，这在以前是非常困难的。“如果我们能创造一个像人类的手那样运动的机械臂，那么在不久的将来，用机器人代替医生做手术将成为可能。”

LG发布新款真空吸尘器机器人

近日，LG发布了一款全新的Vacuum Robot真空吸尘器机器人——VR6172LVM。

这款机器人作为现代家居的清洁工具，具备日常的自动吸尘功能，吸尘器凭借强大的吸力，能够有效清除室内的灰尘和肉眼看不到的细菌，省时省力，彻底解决了家务烦恼。而且VR6172LVM采用了更低噪声设计，噪声只有48dB，属于完全可以接受的范围之内。

另外，这个真空吸尘器机器人配备了最新的自我语音诊断功能——“Smart Diagnostic智能诊断”。用户只要长按“Smart Diagnostic”按钮3秒，VR6172LVM就会以30秒时间或50cm的行程进行自我诊断，检查自身超过14种不同的主要内部元件，如果有问题，会自动通知你什么元件坏了，并告诉你如何修复。

这款LG空吸尘器机器人将于近期投放市场，售价为779000韩元，约合4735元人民币。

哈佛开发廉价迷你机器人

哈佛自我组织系统研究小组（Self Organizing Systems Research Group）的研究员们宣布，他们正在开发一种名为Kilobot的机器人——仅有25美分硬币大小，能够与其他同种类型的机器人共同协作。每个机器人仅售14美元（约合90元人民币）——意味着你能一口气买下上千个Kilobot，花费却不会超过一辆新车。

每个Kilobot机器人都具备两种运动模式，且能与其他机器人进行通信交流——前提是间距不超过10cm（也就是相隔6个Kilobot）。这些机器人之间彼此通过红外线进行交流，红外线也是Kilobot和主控台进行交流的方式——主控台告知机器人运行何种程序。能够同时向所有机器人发出无线程序指令是这项设计的主要优势，其他许多指令也是可以规模化执行的，包括电源开关及充电。

上述团队已经成功令25个Kilobot机器人共同工作，现在正在试图将规模扩展到1024个以上。

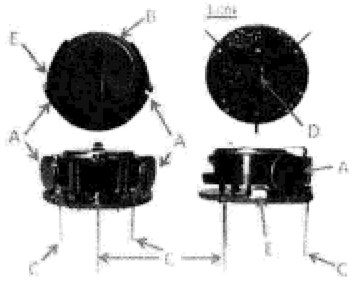


Fig. 1. Four views of a Kilobot robot (clockwise from top left, the top, bottom, side, and front views). Some key features are: (A) Vibration motors, (B) Lithium Ion battery, (C) Rigid supporting legs, (D) Infrared transmitter/receiver, and (E) Three color (RGB) LED. Note the 1cm line for scale.

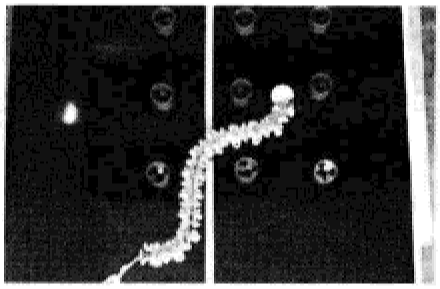
清扫机器人进入福岛核电站

据报道，一台清扫机器人于当地时间7月2日进入日本福岛第1核电站3号核反应堆，开始首日的清扫工作。它在100m2的范围内清扫了5个小时。

东京电力公司称，这台机器人主要吸除核反应堆建筑物内的灰尘和沙粒等，通过这种吸除，每小时可以减少建筑物内 10~20 微西弗的核辐射量。

据悉，目前第3号核反应堆的建筑物内的核辐射量很高，每小时的核辐射量达到50~150微西弗，工作人员无法入内进行设备抢修等工作。东京电力公司希望通过机器人的清扫来降低建筑物内的核辐射量。

英国工程师发明机器蠕虫



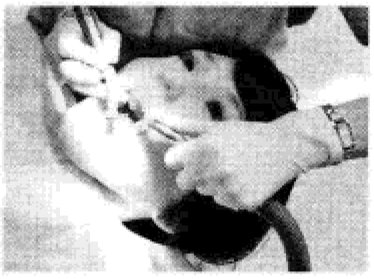
英国利兹大学的研究人员根据仿生学原理，发明了一条巨大的机器蠕虫。这条机器蠕虫可以自动在重重障碍中找到自己前进的路径。

这条尺寸超大的机器蠕虫是模拟线虫的外形制成的。线虫是一种采用超级简单的神经系统来控制自己行动的微型蠕虫。工程师乔丹·鲍耶勒希望，这种机器蠕虫将来能够用于科学研究和生命营救。它可以将热源探测设备送到倒塌的建筑物中以发现被困者，或将物品送到幸存者手中。

鲍耶勒发明的机器蠕虫比普通线虫的体积要大2000多倍。普通线虫根本没有骨骼，但机器蠕虫却有一根坚硬的脊椎。沿着机器蠕虫的脊椎两侧，有一排排弹簧，这些弹簧为它提供了像真正线虫那样的灵活性。为机器蠕虫提供向前动力的系统本质与线虫类似，因此它与此前其他在地面爬行的机器人穿过障碍物的方式完全不同。

这款仿生机器蠕虫对于它周围的环境兴趣并不大，它单纯依靠左右扭动前进。当它碰到障碍物时，它不需要知道该如何改变自己身体的形状，它只需要继续扭动。鲍耶勒解释说，“灵活的控制系统和柔韧的身体意味着，这款机器蠕虫可以无视任何可能阻止其前进的障碍物。它的思维就是，‘前进，前进，再前进’。当然，这同时也意味着它不知道何时该停下来，因此一个偶然的小意外就有可能让它停止前进。在未来的版本中，控制系统将需要增加一个‘智能’层。”

日本研发出真人形态牙科机器人



昭和花子2号是日本昭和大学开发的牙科训练模拟机器人，相比去年开发的前辈花子1号，它的头部由液压驱动改成了电机驱动，同时也将 PVC 外皮换成了更拟真的硅胶外皮。除了会张嘴秀一口白牙之外，花子2号还能识别语音，并且做出许多超拟真的动作，包括眨眼、打喷嚏、咳嗽、甚至是噎到。

她能模仿咳嗽、活动舌头，以及人类的其他反应，特别是疼痛反应。这为学习牙科的学生提供了极好的练习机会。

“昭和花子”由医科大学昭和大学与机器人生产商Tmsuk联合研制。而“她”的应用方是全日本唯一一家私立的医疗综合大学——昭和大学，它的齿学部6年学费高达4000万日元，约合322万元人民币。

会帮人遛狗的机器人

凡是懒人都需要有一个机器人保姆，好来帮助他们做各种费时间的家务，例如洗碗、洗衣服、甚至是遛狗。

这个机器人名为Luna，具有可扩展、可编程、便宜的特性，是基于RoboDynamics 公司的机器人保姆重新设计而成的。

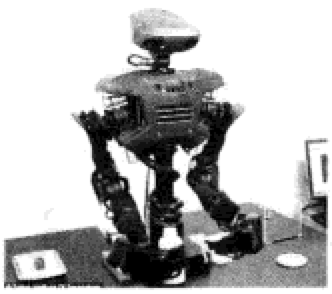
Luna是一台为个人服务而设计的机器人，它的基本功能就是充当人类的伴侣，为你遛狗，给你提东西、送餐，随时给你一些生活建议。它基于标准PC架构和Linux操作系统，拥有Wi-Fi无线网络、触摸显示屏、摄像头、麦克风、扬声器和多个扩展端口，以及应用程序商店功能，预计在2012年推出，售价3000 美元（约合19400元人民币）。据说它会是世界上第一款商用机器保姆。

机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

日本研制出具备学习能力的机器人

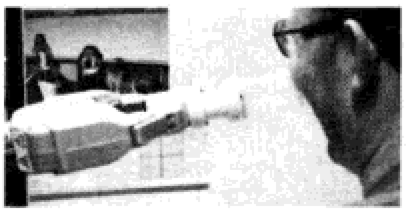


日本研究人员研制出一款能够学习并掌握新功能的机器人。这款机器人可利用过去的经验和自己所掌握的知识做出判断，找到最理想的处理方式。目前，这款机器人还只能完成一些简单任务，例如拿起装有水的杯子，并往杯子里放冰块。研究小组希望它能够像孩子一样，学习和掌握更多技能，并随着时间的推移变得越发强大。

这项技术名为“SOINN”（自组织渐增神经网络的英文缩写），由东京工业大学的研究人员研发。在一段视频中，他们的机器人将瓶子中的水倒进杯子，这是按事先编好的程序完成。在此之后，他们又要求正在完成其他任务的机器人将杯子中的水冷却。机器人停下手头的工作，思考之后放下瓶子，拿起冰块放入杯子中。这个看似不起眼的举动，说明SOINN机器人已经具备学习能力。根据事先设定的指令，它并不会往杯里放冰块，完全是自行决定的。

东京工业大学副教授长谷川修在接受视频新闻网站DigInfo采访时表示：“对于现实世界的人工智能来说，现实环境更加复杂并且快速变化。机器人需要具备学习能力，适应环境变化。由于不断出现新形势，机器人需要具备在现场掌握新信息的能力。”通过允许机器人连接互联网并求助于其他机器人，SOINN技术在这条道路上迈出了一步。不过这款机器人何时投放市场仍是一个未知数。

能帮人挠痒痒的机器人

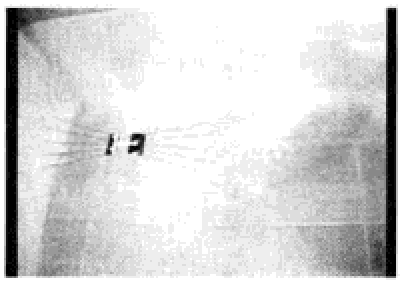


40岁的亨利·埃文斯10年前由于脑干中风而高位截瘫，四肢不能动弹，还丧失了语言能力。通过一系列的治疗，他能够稍微移动头部，还能动一个手指，这让他可以使用电脑。而其他所有的事，则需要妻子简帮助完成，其中就包括挠痒痒。可能你没有注意到，但事实上我们每个人都会不自觉地不时挠个痒痒。对埃文斯来说，大概每个小时会发痒2到3次，只是他以前不能自己挠，得忍着。

去年他在电视新闻上看到了对佐治亚理工学院教授查理·坎普的一个访谈节目，了解了PR2机器人。于是他联系了制造商Willow Garage和坎普教授，询问能不能让机器人完成一些简单的功能来帮助自己。

佐治亚理工学院的团队在“机器人为人服务”的项目下，开发了多种新接口和程序，帮助埃文斯做自己想做的事。现在他的头部控制一个跟踪器，而那根手指的小幅运动操作着多种实验性的使用者接口，让他直接移动机器人的身体，包括它的双臂和头部。亨利还可以通过接口激活机器人的自主行动，比如在房间里绕行、到达某个位置、打开抽屉、移走物件。当然，最让他兴奋的是，在PR2的帮助下，他能自己在脸上挠痒痒。最近他甚至还操纵PR2替自己刮了胡子。让机器人完成一些功能性的服务，补充人的某些能力，是极有价值的，尤其是帮助我们做独自不能完成的事。

中国科学家研制出水面行走微型机器人



中国哈尔滨工业大学的科学家近日报告说，他们开发出了一种可以在水面上行走的微型机器人，在军事侦察、水污染监测等领域具有广阔的应用前景。有关研究成果已经刊登在美国《应用材料与界面》杂志上。

在自然界中，水黾等小昆虫可以在水面自由行走而不沉没，其原因是水黾的腿部具有特殊的微纳米结构。这个特殊结构使水黾在水中行走时，腿部被一层空气垫环绕。领导这项研究的潘钦敏教授说，他们的研发大致可分为两个阶段。首先是从水黾腿部的“羽毛状”微纳米结构获得灵感，研发了一种“超级浮力材料”，这种新材料的水上载重能力十分惊人。

在研发的第二阶段，中国科学家利用已经取得的新材料制造出微型仿生水上机器人。机器人由10条支撑腿和两条螺旋状驱动腿组成，动力由微型电机提供。

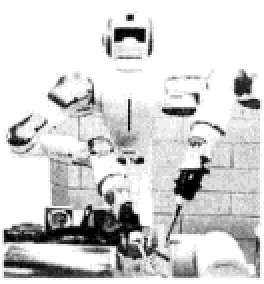
潘钦敏说，这种微型机器人的重量相当于大约390只水黾。虽然比所模仿的生物重很多，但机器人轻松站在了水面上，而且还能自由行走和转弯。

东莞展示会煎蛋的机器人

8月2日上午，耗资210万元左右的高精密度机器人在东莞市科技馆首次公开亮相，并对外开放。说起这个机器人，还真是大有来头。据科技馆工程师刘先生介绍，煎蛋机器人是高精密度机器人的代表。“不敢说国内第一，至少也是国内领先的顶尖机器人。”他说，煎蛋机器人的故障率十分低，它在完成剑锋走陀螺时，动作误差仅有0.06mm。

煎蛋机器人和真人差不多高，两个铁臂十分灵活，翻转魔方、转陀螺、煎鸡蛋，都由专门的“手”来完成。机器人在20s内就完成了魔方还原，随后在做剑锋走陀螺前，还舞起了太极剑，动作一气呵成，引来阵阵喝彩声。而在煎鸡蛋环节，倒油、倒蛋、翻蛋等各个程序，均有模有样，看到一个热气腾腾的鸡蛋煎好后，现场游客都叹为观止。记者在现场还品尝了机器人煎好的鸡蛋，加点酱油，口感不错。

科技馆会定时开放机器人，也会满足游客的要求。目前馆方正在拟定管理细则，初步打算对外开放后，游客如有需要，支付3元即可让机器人现场煎蛋。机器人所使用道具均为不锈钢，完全符合国家卫生安全标准，而且工作人员也会定时清洗道具，煎好的鸡蛋可以放心食用。

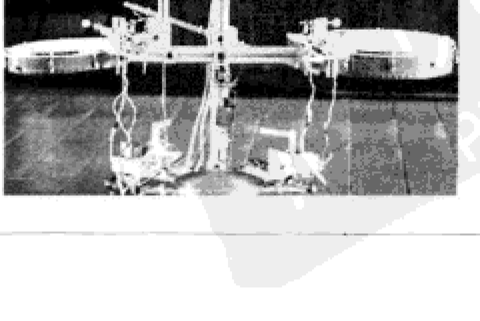


Rock机器人乐队

加州艺术学院的学生们制作了这个自动化机器人乐队，并试图让它们配合演奏出美妙的音乐。

这个机器人乐队由MahaDevibot、Glockenbot、BreakBot和NotomotoN这4台机器人组成，机器人分别负责敲击各种鼓。它们擅长各种打击乐、爵士乐、嘻哈，以及电子音乐。

机器人在台上表演时，操作者也需在一旁用电脑实时监控，实现“人机合一”的默契景象。现在这群学生正在紧张地进行现场调试，以期完成他们第一次现场表演。不知道真实表演的效果怎样，是不是用机器人也能组合出一个“机器人十二乐坊”呢？



日本科学家研制仿生喉咙机器人

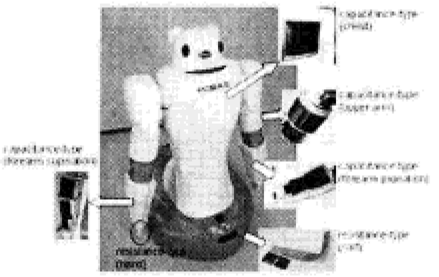
日本香川大学教授泽田秀之发明的这款机器人非常独特，它长着突出的橡胶嘴唇。在演示过程中，这款机器人唱了日本童谣《可果美》，但音质有点儿不尽人意，听起来更像是损坏的割草机发出的声音。

尽管它的歌声令人感到不愉快，但这仍是机器人技术领域的一项重大突破。为了实现仿生学特征，这款机器人具有类似人类的声音系统，能够通过麦克风放出声音，然后调节音调以实现接近真实的人类发音。

这款机器人将有望在未来实现更好的声音效果，或许未来某一天能够像歌星那样歌唱。目前，它也被叫做“老橡胶嘴”。它使用带有8个人造声带的压缩鼻骨谐振空腔来产生声音，嘴唇和嘴部的移动有助于改变释放出来的声音。

这种由发动机控制的人造机器人器官可用于聋哑人发音练习。像这样的技术也将为由于受伤或者疾病导致失音的人群提供一种人造发声器官。同时，它还有助于实现自动化声音系统，比如电话簿服务系统。

日本推出“大力士”机器人护工



日本社会的迅速老龄化预计将对其经济造成负担。在日本针对老年人的医疗和看护机构中，每天需要人员将病人抱上轮椅大约40次。这是一个既费力又困难的工作。

于是日本研究人员推出了一种新型机器人，这种机器人可以将体重80kg的病人抱到轮椅上。研究人员说，这一创新成果将把医疗护理工人从繁重的工作中解放出来。

这个名叫RIBA2的机器人摸上去手感柔软，它利用轮子四处移动，并能对声音指令作出反应。这种机器人由橡胶制传感器和弹簧构成，它的底部和背部下方有经过改良的“关节”，它能蹲下并将一位病人从蒲团上举起。

RIBA2是它的机器人先辈RIBA的改进型号。2009年8月27日，日本物理化学研究所（RIKEN）和东海橡胶工业（TRI）联合研发成功了交互肢体辅助机器人——RIBA。该机器人主要用于帮助护士将病人从他们的病床、轮椅中抱起（包括上洗手间）。这个180kg重的机器人可以安全地抱起一个重达61kg的人，而如今RIBA2在原先的基础上将负重增加到了80kg。

根据手势播放音乐的Qbo机器人

由TheCorpora公司研发，以Linux为系统基础的Qbo机器人除了懂得辨认人声、闪避障碍物等互动功能外，现在还获得了新的技能——看人的手势来播放音乐。

Qbo机器人的头部有2个充当眼睛的立体高清摄像头、3个麦克风、2个可以眨的眼睛，甚至还有一张由LED构成的嘴巴，身上有超声波和红外线传感器、状态显示器、立体声扬声器。Qbo的大脑由Mini-ITX构架主板、英特尔凌动CPU及英伟达翼扬图形芯片组成。Qbo的其他功能甚至包括语音合成系统，通过头部的Wi-Fi可以连接Internet。得益于其超声波传感器，Qbo能绕开障碍物。其身上的可充电电池则仍在测试中。

当Qbo的“眼睛”侦测到用户手握拳头的时候，它就会播放音乐；用户再出拳头，它就会暂停音乐；用户做出向上和向下的V字型手势，它就会分别将音量上调和下调，用户做出食指向左的“手枪”手势，它会跳到前一首歌，用户将拇指向右指，它则会跳到后一首，用户将手掌向前摊开时，它便会停止播放，很贴近人类的日常习惯。除了看手势播音乐的功能外，Qbo还懂得利用它的面容辨识系统来分辨人脸。

降温机器人助力2011上海国际嘉年华

7月28日，“2011年国际嘉年华”在上海浦东盛大开幕。活动现场，人们在享受惊险刺激的游乐项目的同时，也被嘉年华售票处和入口处所摆放着的，如同智能机器人的“雾博士新型室外空调”所吸引。

与大型喷雾降温设备的降温原理一样，被称为“魔法雾精灵”的雾博士新型室外空调的降温原理也是将水通过高压撞击，用完全物理的方式挤压出来，结合适当的风力、温度、湿度和阳光，产生快速汽化，从而达到降低周边环境温度效果。只不过该设备是大型喷雾系统的“浓缩版”。

虽然体积小了，但是其降温效果依然显著。该设备能量来源于底部大功率可拆卸蓄电池，与220L水箱配合使用，一次充电就可连续进行喷雾运转5～8个小时。经过检测，雾博士新型室外空调可让周边60～80m^2的区域降温达3～10℃。

据了解，随着七夕、中秋佳节的到来，2011年国际嘉年华会渐入佳境，游客入园将达到高峰。嘉年华主办方会再引进10台雾博士新型室外空调，放置到园区内，为热门景点和游客集中的地方提供降温服务。相信届时会有更多的人体感受到雾博士的神奇威力。

海啸幸存老人依赖机器宠物

对于遭受过3·11大地震灾难的日本人来说，灾后重建或许有所起色，但内心的创伤却很难痊愈。而在距离福岛核电站30km的一家避难所里，老人们却正享受着“海豹”所带来的别样的抚慰与温馨。

这只海豹机器人名叫“帕罗”，从外表来看，它们同真海豹一样，有着一身柔软的白毛。但帕罗最大的特点，是可以对人的接触产生交互反应。当你对着它“甜言蜜语”或爱抚一番时，帕罗会扑闪着眼睛，眨动长长的睫毛，扭动身躯，发出小海豹般的叫声，但如果有人对它不理不睬，它则会表现出委屈和愤怒。你把它抱在怀里的时候，它柔软的身体让你备感温馨，你抚摸它身体的时候，它会调皮地扭动与你嬉戏。

“当我抱着它的时候，就算外面刮台风也没关系，我会感到很安全。”日本敬老院一位老人这样形容帕罗带给他的感受。今年5月，日本科学家向该避难所赠送了两只海豹机器人，希望它们能够减轻老人们的孤独感。现在，帕罗俨然已经成了这里的“焦点人物”。

近日，日本大和房屋工业公司表示将向岩手、宫城和福岛三县的特别养护老人院免费出租 50 个海豹机器人，帮助安慰因大地震受灾的老人们。

美军要让微型机器人冲锋陷阵

美国空军微型飞行器（MAV）小组的工程师正在努力设计一种伪装成昆虫的飞行机器人，希望它们有朝一日能够从事谍报工作，执行危险任务，不用让人去冒生命危险。

下一代无人飞行器可能只有大黄蜂那么小，能够悄无声息地飞进大楼内，进行拍照、录音，甚至攻击恐怖分子。军方表示，这种微型机器人可以更加精确地辨认出敌人并进行攻击，所以有助于减少或避免平民伤亡。帕克及其同事计划最快在2015年研制出鸟类大小的机器人，然后在2030年研制出昆虫大小的原型机。微型飞行器也可以用于战场，因为战场上遇到的最大困难就是如何收集可靠的情报。

美国防务研究中心高级顾问菲利普科伊尔认为，研究的主要难点是如何让微型飞行器承载摄像头与麦克风的重量。科伊尔说：“如果你把机器人做成大黄蜂那么小，然后叫它携载摄像机等许多东西，它可能飞都飞不起来了。”

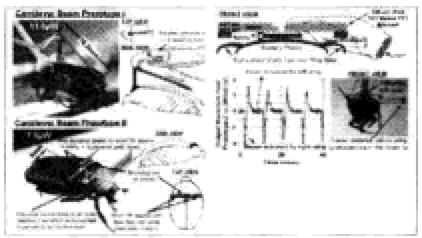
现有的飞行机器人都由地面人员来控制，但微型飞行器将会根据预先设定的指令自主飞行。

机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

美国正在研究将昆虫变为可控机器人的方法



近些年来，科学界对机器人研究越来越深入，机器人也与人类越来越接近，然而高昂的研究经费使得机器人的生产普及常常停留在纸上谈兵的境地。近日，美国开始另辟蹊径，以另一种方式研究机器人。

美国DARPA国防高级研究计划局在Michigan 大学开设了一个研究小组，他们正在试图给昆虫“洗脑”——通过植入芯片让昆虫变成一个可控制的机器人。

研究小组觉得这种方法或许比开发一个迷你机器人更方便，成本更低，而且存在理论上的可行性。植入昆虫体内的芯片的供电问题比较棘手，然而多数昆虫都有一对扇动的翅膀，正好给研究行了个方便。“昆虫翅膀的扇动频率快得惊人，利用它来发电是一个新的设想，如果能对这些资源加以利用，收益将会非常大。”研究者说。

研究者们首先在昆虫身上安装压电发电装置，利用昆虫翅膀的扇动而发电。这里产生的电能恰好可变为控制这些昆虫芯片的电力，从而达到给昆虫洗脑的目的。

世界上走得最快的双腿有膝机器人

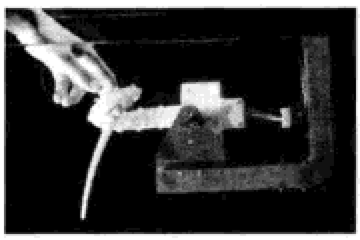
美国密歇根州大学的实验室研制出一款能够像人类一样奔跑的机器人，让双腿机器人的敏捷性和效率达到一个新的高度。这款机器人名为MABEL，最高速度可达到10.9km/h，它也是世界上速度最快的双腿有膝机器人。

MABEL诞生于2008年，由乔纳森·赫斯特与格里泽勒合作研制，当时的赫斯特是卡内基梅隆大学机器人技术研究所的博士生。格里泽勒与密歇根州大学博士生库斯希尔·斯利纳斯和朴惠元用了几年时间改进MABEL。他们大幅改进反馈算法，允许这款机器人在与环境进行实时互动时保持平衡。最初，他们在平坦的表面测试MABEL，这款机器人能够快速而稳步行走，随后又挑战崎岖的地带。7月末，MABEL上演了第一次真正意义上的慢跑，这正是此项研究的终极目标。

研究人员表示，具备奔跑能力的机器人并不多，MABEL能够做到这一点，并且能够像人类一样奔跑。它的重量分布方式与人类相似，但躯干更重，腿部轻巧而灵活，装有充当腱的弹簧。格里泽勒表示，MABEL每跨一步在空中的停留时间占到40%，“就像是一个真正的奔跑者”。其他奔跑机器人几乎就是在快走，而不是奔跑，每跨一步在空中的停留时间不到10%。

在穿行于复杂地形和进入建筑物内执行任务方面，具备出色奔跑能力的双腿机器人同样拥有优势，工程师表示它们可以充当机器人士兵或者营救人员。

模仿章鱼触手的机器人



这个机器人“章鱼触手”与众不同，它具有“软硬功”，既柔软坚韧，足以环绕物件，也可以变硬，以便将对象抓牢。它和其他机器人触手的另一种关键区别是，其他触须都设计成机器人的“臂”，或者就只是个假肢夹子，而章鱼触手将设计成机器人章鱼实体的组成部分。

这个触手是这样构成的：一根钢丝连接着一组尼龙牵线，所有这些都包裹在硅胶制成的皮肤里面。借助尼龙牵线操纵中央的钢丝，触手可以像蛇一样环绕对象，随即变得坚硬，将对象牢牢抓住。试制者并没有完全披露触手如何调整它的软硬度。由于皮肤的硅胶外表面有足够的摩擦力，章鱼触手不需要像吸盘那样抓取部件。

机器人“章鱼触手”项目由欧洲委员会EC资助，意大利比萨的圣安娜高等学校等执行，现在已经制作了一个43cm长、能正常工作的样机，而它的原型则仿照栖息在地中海的真正章鱼制作。该项目计划在2013年结束，届时会向EC提供结构完整、运行良好、具备防水功能的机器人章鱼。

机器人章鱼将可用于多种应用，如水下搜寻、救助和科学探索。可能有一天，一个巨大的机器人章鱼将被派来挽救落水者的生命。一些英国外科医生则在探索一种基于这项技术的内窥镜工具，柔软的工具能蜿蜒通过身体组织到达体内的指定位置，在那里再变成刚性，执行观察和手术任务。

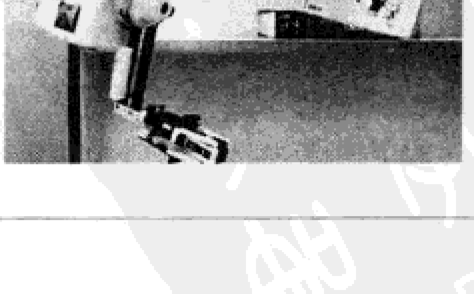
美国人工智能大会惊现机器人特工队

在2011年8月7日至11日于美国旧金山举办的第25届人工智能大会上，一部真实拍摄的名为《机器游侠（Swarmanoid）》的短片，凭借可媲美军事水准的精确“抢书”行动内容，让所有人都赞叹不已。

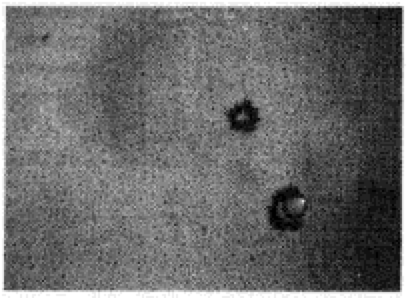
担当主角的机器人小分队由飞行、滚动和攀爬机器人“三剑客”组成，飞行机器人“飞行者”可越过途中的障碍安全飞行，并在抵达目标区域后吸附在具有磁性的天花板上，为其他机器人同伴构建信息网络，将通过电子眼等侦察到的信息进行实时传送，以保持团队其余成员的信息连贯性。滚动机器人“自由人”在接收到“飞行者”传递的相关信息后，可以单独行动，自始发点至目标区域排成数列纵队（考虑到有转弯的情况），形成信息链来为攀爬机器人“神爪手”引路。同时，“自由人”也可和“神爪手”组合，携带“神爪手”前进。“神爪手”则可在抵达目的地之后，由顶部弹出韧性极好的吊线，附着于天花板之上，随后开始逐步攀爬，直至接触到目标书籍，并在抓取拿稳该书之后离开书架，在吊线的辅助下缓缓下落到地面，随后收起吊线，与“自由人”重新组合，将书带回起始点。与此同时，第二拨组合机器人已经行进在路途中，如此循环、往复。

整个过程中的所有行为都没有预先的计划或是由控制中心协调控制，仅依赖于单个机器人之间的相互作用。而3种机器人沟通的“语言”正是它们外部闪烁的LED灯光。通过灯光颜色的变换，机器人可以向同伴传达不同的信息，进行有效沟通，不断调整行动方案，达到最佳的行动效果。每个机器人也可以借助红外信号，对其他伙伴进行定位，计算出它们的距离以及所处的方向等。而在相关机器人的研制过程中，更借鉴了蚂蚁等动物的群体智慧。

作为片中各类机器人的创造者，比利时布鲁塞尔自由大学的马可·多里戈表示，他十分高兴该片能在人工智能大会上获得最佳影片奖。多里戈说，这只是一项简单的展示，但在未来，这些机器人能够协同合作，克服更多的困难，也将承担更重要的任务，如被用于监控和救援等。



可自行组装的微型磁粒机器人



在磁场的帮助下，美国阿贡国家实验室的研究人员制造出甜甜圈形的机器人，可以在水和油之间游动。关闭磁场之后，这些机器人立即消失。虽然这只是第一步，但阿贡国家实验室的研究人员表示，这一发现能够在将来的某一天用于清理表面，或者成为一种新的药物输送手段。未来，这项技术也可成为研制类似沙人的机器或者机器人的基础，沙人能够按照自己的意愿分解和重新组合。

阿贡国家实验室首席研究员伊戈尔·阿兰森和他的同事发现磁丝链在暴露于流体中时可以自行组合，而后对这种现象进行了研究。他们将微型磁颗粒放入烧杯中的水和油（拥有相似的密度）之间，而后施加一个交变磁场。打开磁场时，这些颗粒形成圆形，可以根据用途对其进行操控。这种外形被称之为星状体，如果是吃豆人类型，可以张开，甚至可以吞噬东西。星状体可以游泳，携带直径最大3mm的颗粒。这种携带绝非易事，因为它们的长度只有35~90μm。

阿兰森在接受美国《连线》杂志采访时说：“这是一种违反常识的现象。磁颗粒本身并没有什么神奇之处，你也可以买到，但如果将它们放在液体表面，它们便可组装成机器人，做一些有意义的工作。”他的同事亚历柯斯·斯奈赫克说：“它也像我们一样，消耗能量。我们一旦停止摄入能量，就会死去。这个系统更简单一点，但也或多或少地具有同样的特征。”该研究发现已经刊登在《自然材料》杂志上。

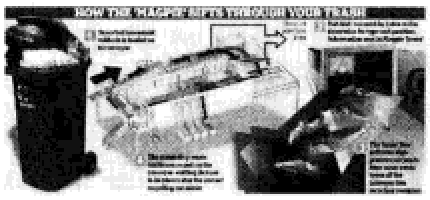
美国研制出可清理动脉血管垃圾的DNA纳米机器人

美国哥伦比亚大学的科学家成功研制出一种由DNA分子构成的“纳米蜘蛛”微型机器人，它们能够跟随DNA的运行轨迹自由地行走、移动、转向以及停止，并且能够自由地在二维物体的表面行走。

据悉，这种“纳米蜘蛛”机器人的大小仅有4nm，比人类头发直径的十万分之一还小。该“纳米蜘蛛”机器人的发明是对几年前“蜘蛛分子”机器人的改进与升级，其功能更加强大，这种纳米机器人不仅能够自由地在二维物体的表面行走，而且还能吞食面包碎屑。虽然以前研制出的DNA分子机器人也具有行走功能，但不会超过3步，而“纳米蜘蛛”机器人却能行走100nm的距离，相当于行走50步。

纳米机器人可以用于医疗事业，帮助人类识别并杀死癌细胞，以达到治疗癌症的目的，还可以帮助人们完成外科手术、清理动脉血管垃圾及组成计算机新硬件等。科学家们已经研制出这种机器人的生产线。

1小时分拣5吨垃圾的机器人系统研制成功



英国研究人员宣布研制出一种能帮人类快速分拣垃圾的机器人，操控机器人分垃圾的系统叫作Magpie系统，负责对运抵处理厂的垃圾进行分类。Magpie能够降低垃圾回收的难度并提高效率，同时减少街道上的垃圾箱数量。

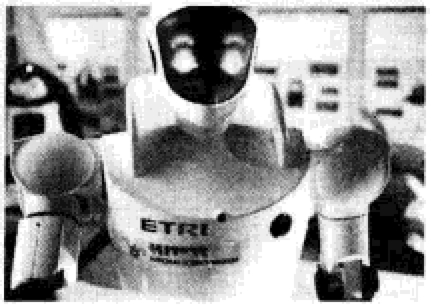
投入使用后，在马路边收集的所有非食物垃圾——例如塑料制品、玻璃、金属和纸制品等，将被运往Magpie处理厂，而后放在一条与飞机场的行李传送带类似的巨大传送带上。随着垃圾在传送带上移动，红外光束将扫描垃圾的分子结构并将获取的数据传输给Magpie的“大脑”，这台机器能够辨别出垃圾的类型，并计算出类似垃圾的数量。

一旦分辨出大量同样的垃圾，Magpie便自动启动大功率气体喷射器，将垃圾吹入相应的管道进行回收。所有这一切都自动完成，无需人力分拣。Magpie的垃圾处理速度快得惊人，每小时可处理5吨。

由于能够处理回收目前可能并不存在的材料，Magpie被称之为“一项不会过时的技术”。英国的首家Magpie垃圾处理厂建在伯克郡的帕德沃斯，将于10月1日投入使用。

Magpie系统由英国最大的垃圾管理公司——威立雅环境服务公司研发，他们希望这项技术能够通过减少家庭垃圾分类的需要，提高垃圾回收利用率。

眼睛会“说话”的机器人



韩国新出了一款ETRO机器人，该机器人面部拥有一双栩栩如生的液晶眼睛，通过这双眼睛，可以表达一些简单的情绪。ETRO机器人已在韩国大田国家科学博物馆展出。在展出期间，ETRO机器人与游客们进行了互动。它可以通过简单的语言和面部表情来回应游客，这不禁让人想起了《机器人总动员》。ETRO机器人由韩国电子通讯研究院（ETRI）制造。相较于前代ETRO机器人，新出的ETRO机器人手臂更灵活，传感器也有所不同。由于安装了语音识别器，它能识别和理解外界语言。虽然ETRO机器人的液晶面部看起来有些阴暗，但也许没有人期望一个机器人长得跟真人一样。

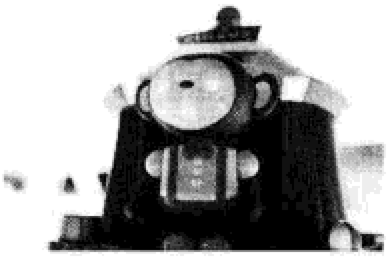
孩子们的机器人玩伴

100 种生动的面部表情、能对话、能做灵活的肢体动作，在今年的东北亚博览会上，一款“儿童交互式陪伴智能机器人”让人们大开眼界。

一个猴子造型的机器人，站在一所小房子前，一会儿点头向周围人致意，一会儿两眼放光呈兴奋状，一会儿又神色黯然地低下头……机器人多种多样的表情让参观者，尤其是小朋友爱不释手。

这是华宝通讯推出的首款针对学龄儿童设计的“陪伴型娱乐机器人Robii”，以全新感受的互动体验，让孩子拥有贴心的关怀陪伴。Robii是专为小朋友设计的陪伴型娱乐机器人，外形是一只穿着吊带裤，打着红色领结的可爱小猴子，脸部表情由170颗LED组合而成，可创造出百种以上生动逗趣的表情。通过关键词辨识技术，Robii不仅会主动说话，也会响应小朋友的话。凭借内建摄影机及动态物体识别技术，Robii可以追踪接近或移动的物体，并具有敏锐的环境感知能力，感受触碰，进而有各种不同的反应，与孩子互动。

据展馆负责人介绍，这款机器人整合有语言、控制、感测、影像识别等多种技术，以及可触控的互动投影技术，最大可投射30.5cm画面。另外，它还拥有13种电玩功能，可以训练孩子的左右脑。



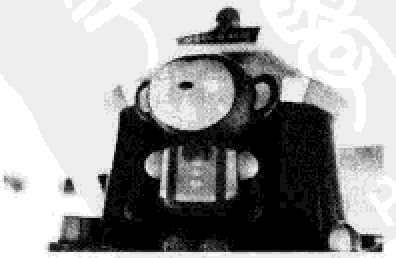
孩子们的机器人玩伴

100 种生动的面部表情、能对话、能做灵活的肢体动作，在今年的东北亚博览会上，一款“儿童交互式陪伴智能机器人”让人们大开眼界。

一个猴子造型的机器人，站在一所小房子前，一会儿点头向周围人致意，一会儿两眼放光呈兴奋状，一会儿又神色黯然地低下头……机器人多种多样的表情让参观者，尤其是小朋友爱不释手。

这是华宝通讯推出的首款针对学龄儿童设计的“陪伴型娱乐机器人Robii”，以全新感受的互动体验，让孩子拥有贴心的关怀陪伴。Robii是专为小朋友设计的陪伴型娱乐机器人，外形是一只穿着吊带裤，打着红色领结的可爱小猴子，脸部表情由170颗LED组合而成，可创造出百种以上生动逗趣的表情。通过关键词辨识技术，Robii不仅会主动说话，也会响应小朋友的话。凭借内建摄影机及动态物体识别技术，Robii可以追踪接近或移动的物体，并具有敏锐的环境感知能力，感受触碰，进而有各种不同的反应，与孩子互动。

据展馆负责人介绍，这款机器人整合有语言、控制、感测、影像识别等多种技术，以及可触控的互动投影技术，最大可投射30.5cm画面。另外，它还拥有13种电玩功能，可以训练孩子的左右脑。



机器人总动员

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

南洋理工大学研发新加坡首个智慧机器人

南洋理工大学建造了新加坡首个人形智慧机器人，它不仅能够走动和按照指示作出反应，还能够从经验中学习，而不是单靠程序操作。这个名为"Nash"（NTU Advanced Smart Humanoid的简称）的机器人身高1.8m，体重80kg，躯干能够支撑40kg的重量，单手能扛起10kg重的物品。

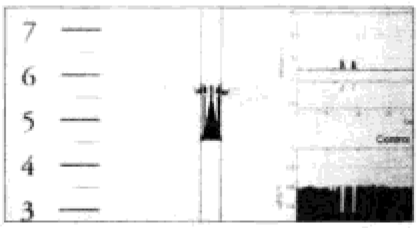
Nash全身上下共装有40个电机，锂离子电池能够让它操作两个小时。它头部安装的几个摄像机能够观察周围环境，从而让机器人依照指示做出反应。目前，指示主要通过电脑输入，机器人上半身的行动也可通过遥控器控制。未来，Nash将能够靠听觉来做出反应。

在智能方面，业界现有的机器人都靠编程操作，不过Nash能够像小孩般通过学习积累经验。目前，机器人已经能辨认500个和行动有关的词汇。

Nash的研发工作从2006年开始，2009年成型，此后不断进行改进。其生产费用估计约20万元。

哈佛大学展示可垂直飞行的微型机器人

最近美国的工程师们在昆虫仿生学微型飞行机器人研制的方向上又迈出了关键性的一步，离完全自主飞行的目标又近了一步。日前他们首次对外界展示了一台采用闭合线路控制的微型飞行机器人执行垂直飞行的情况。研制人员预计，他们借以控制垂直方向的方法也将最终帮助他们在全部3个轴向上实现自主操控。



来自哈佛大学微型机器人实验室的研制小组，日前在最新一期的《生物灵感与仿生学》杂志上发表了他们有关世界第一种"可控仿生学垂直飞行机器人"的相关论文。他们采用的创新方法将有助于开发完全自治的、拥有灵活飞行能力的微型机器人。

尽管他们说得轻松，真正制造一个完全自治的卫星飞行机器人可绝非易事，空气动力学、传感器、微型电机以及其他诸多因素必须进行综合考虑。为了简化问题，研制人员们决定首先将注意力集中于一个问题上——飞行高度控制。于是他们设计了一台采用仿生学振翅模式飞行、重量仅有56mg的微型飞行机器人，并将其限制在一个只能上下两个方向移动的空间内。飞行器通过拍动翅膀获得升力，它振动翅膀的频率越高，升力就越大。

在测试过程中，研究人员展示了这一微型飞行机器人具备在某一高度悬停或按照指令飞向另一高度的能力。另外，当研究人员用喷气管去施加气流干扰时，飞行机器人也能采取相应措施排除干扰因素，保持高度稳定。而最令人瞩目的是，这个小小的、仅重56mg的飞行机器人竟然能产生相当于其体重3.6倍的升力，这就意味着它将有能力"背负"包括转向控制设备、感受器和微型电源在内的各种附加载荷，这些装备的加装将赋予飞行机器人更加强大的能力。

78美元就可以拥有一台由智能手机驱动的机器人

Romo是由Romotive推出的一个Kickstarter项目，它将由硬件和软件组成。硬件包括轮子、履带、智能手机接口、锂电池等。软件将由一系列手机应用构成，也就是说开发者可以为智能手机开发相关的应用来延伸该机器人的功能。

初期Romo正在开发的应用包括3款：一款是RomoRemote——遥控该机器人，你可以通过手机上的摄像头查看机器人周围的情况，也就是具有了间谍功能。一款是Romo Kart——攻击应用，通过该应用，你可以向机器人发出攻击命令，和同伴比赛玩耍。还有一款是Drag and Drop Programming Module，你可以直接在你的智能手机上编程，并看着该机器人执行你的命令。该项目的融资情况进展得非常好，目标融资数是32000美元（最低支持78美元就可以获得这样一个组装好了的机器人），而他们在距离目标时限还有43天时就已经获得了超过15000美元的支持。

可以采摘椰子的机器人

椰子一直是印度的一种重要农产品，但是最近印度的椰子种植业受到了采摘工人缺少的困扰。日前，一名业余人员开发出了一种可以采摘椰子的机器人，有望解决这一问题。

这个机器人重约50kg，开发者是来自孟买的Keralite Zakarias Mathew，他在印度椰业发展委员会的成员面前展示了他的机器人。Mathew先生今年63岁，仅仅在学校上完了6年级，开发这个机器人花费了他大约3个月的时间，仅仅使用了一些常见材料。

"目前看起来机器人的爬行部分非常成功，主要还需要在实际工作过程中由椰农评估它采摘椰子的效率。如果可以接受，我们将在椰农中开始推广这种机器人，"椰业发展委员会的主席TK Jose表示。

在展示中，这款名为"爬行者"的机器人平稳地爬上了椰树，采摘过程在开始时并不顺利，更换刀片后则好了很多。

日本公司研发新型美发机器人

10月4日开幕的2011年日本电子高新技术博览会（CEATEC）上展示了这款美发机器人。除了洗发外，这款机器人还具备护发和吹干功能，可以满足行动不便、需要看护的人的需求。在洗头时，用户需躺在类似理发店洗头椅的设备上，以仰面姿势接受机器人服务，通过操作触屏，可调节橡胶手指的按摩位置和力度，并能选择洗发模式。机器人手臂会喷出水柱和洗发液，机器人的24根橡胶手指能多角度揉洗头发，同时按摩头皮，这个过程需要3分钟，定型和吹干过程耗时5分钟，能满足行动不便者一步到位的需求。

开发者松下计划对机器人进一步改良，争取于2012年度内投入实用，预计主要购买对象为疗养院和医院。

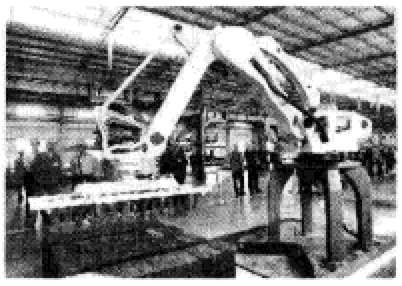
日本迷你机器人将挑战铁人3项

由日本松下制造的手掌大小的人形机器人Evolta，将在3节电池的驱动下，在约225km的路程内，完成游泳、自行车和跑步3项全能。不过完成这项任务它可能需要10天时间。之前，Evolta已经顺着一条长457.2m的绳子爬上美国大峡谷、驾驶奥迪Le Mans巡游长达24小时，现在它打算在夏威夷挑战铁人3项全能，在全球最长的赛道上完成跑步、游泳和骑自行车3项挑战。

不要指望Evolta会像职业自行车手一样骑车，因为这个机器人大约只有人的一个巴掌那么大，而且这次它也不一定会取得成功，它的第一次大峡谷攀爬活动就因“失足”而惨遭失败。经验丰富的机器人创作者高桥智隆还制作了一个高3m的救援机器人，这款机器人拥有液压悬臂，能够举起一辆小汽车。高桥智隆说：“即使对运动员来说，这也是一项非常艰巨的挑战，但是我认为我们值得一试。”

Evolta的3项全能挑战包括骑一辆微型自行车，在一个有支撑后轮的圆环里跑步，以及两臂展开，安装在一个弯曲的、像鳍的叶片上游泳。这个身高51cm的机器人瞄准的是特殊挑战。高桥智隆说：“我必须思考能让它防水和避免它生锈的方法。”

国产码坯机器人实现自动化制砖

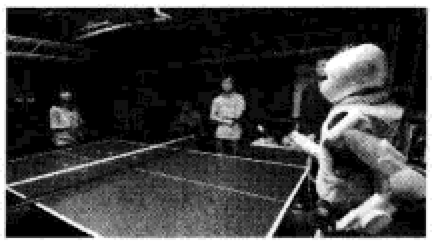


近日，河南自己研发的码坯机器人正式投产。在中牟产业集聚区内的河南欧帕工业机器人有限公司里，一个高5.5m、重12t的大家伙正灵巧地“一把抓起”200多块砖，往一旁的传输带上放。这个大家伙正是欧帕今年新研发的大螳螂码坯机器人。“这个机器人一次能码1400kg的砖块，顶36个人干的活儿呢！”欧帕技术负责人吴占海介绍说。

旁边，欧帕研发的另一个超能码坯机器人和机器人伴侣也在忙碌着，它一次能搬运500kg的砖块，比世界同类机器人一次可以多搬250kg。值得一提的是，在2011德国汉诺威工业博览会上，作为河南乃至全国参展的唯一一家高新技术企业，欧帕带去的正是这个机器人，它的出现引起了世界机器人工业各大公司的高度重视。

河南欧帕工业机器人有限公司总经理范红兵说，这两个机器人共使用了6项专利技术。目前，大螳螂码坯机器人已预订出100余台，超能码坯机器人和机器人伴侣也预订出不少。“它们的投产使用，不仅能节约劳动力，提高工作效率，更将以技术革命的方式加速黑砖窑的消失，把全国10万个砖场内的300万人从落后、恶劣的工作环境中解脱出来。”

中国科学家研制成功世界首个快速连续反应的仿人机器人



10月9日，仿人机器人“悟”和“空”在浙江大学智能系统与控制研究所一张标准的乒乓桌前正式向世人亮相，并开始了它们的首次乒乓球“公开对决赛”。这是目前世界上首个宣布研制成功的、具有快速连续反应能力的仿人机器人。

浙江大学机器人实验室主任熊蓉介绍，作为国家科技部863计划的重点课题，“悟”和“空”是课题组历时4年研制成功的。作为第3代仿人机器人，“悟”和“空”更加完美，并具有中心此前研制的多个机器人所没有的过人之处：他们不仅外形、体重和真人无异，而且全身拥有30个可以各司其职、自由活动的关节，仅手臂就能做7个自由度的运动，十分灵活。

不仅如此，机器人还采用了中国第一个工业自动化国际标准——以太网实时控制技术（EPA），使机器人的反应速度更快。另外，机器人的精准识别、预测、建模和反应能力也很强。“有的时候你会发现，机器人的表现甚至超乎你的想象！”研发人员朱秋国说。

“悟”和“空”甚至还可以和真人对打，并且十分友好。“他们和人对决的最高记录是144个回合。”研发人员章逸丰博士说，机器人的连续反应速度和精准识别能力也时常给他们带来惊喜。

在机器人平地行走难题得到克服之后，外形、思维、动作和人相似的仿人机器人正成为国际科学界研究的新热点和新方向。相比一般的轮式机器人，仿人机器人对机器人的运动规划、平衡控制、机械结构设计、材料选择和加工工艺提出了更高的要求。

神奇机器人手套助力中风病人

中风或是意外受伤后，人的手部运动往往会受到影响，需要耐心锻炼才能逐渐恢复。不过最近传来了好消息，意大利的工程师研发出了一种神奇的机器人手套，能够给这些手部需要恢复的人们一“手”之力。

这种机器人手套由在手背和手指处运行的气缸来驱动，给手部施加温和的压力，以对手部的活动进行引导。与此同时，手套上的电子传感器与设定了手部动作的电脑软件相连，能帮助患者独立活动手部，经过练习重新做出伸展或是握拳等各种姿势。

德国打造未来汽车

德国科学家揭开了一款“未来汽车”的神秘面纱。这款汽车实际上是一辆大众帕萨特，会“说话”，长“眼睛”，完全由电脑进行遥控，无需劳烦驾驶员。德国科学家研制的未来汽车采用了一系列先进装置，尾部行李箱内安装有电脑、各种电子设备以及一个准确度极高的卫星导航系统，前端安装了一个摄像机，车顶、前端以及后保险杠周围安装激光扫描仪。自由大学人工智能研究小组负责人保罗·罗加斯表示：“这款汽车能够识别70m外的其他汽车、行人、建筑以及树木，甚至能够在看到交通信号灯亮起红灯或者绿灯时作出相应的反应。实际上，这款汽车识别周围环境和做出反应的速度远远超过人类。”这款帕萨特造价40万欧元，采用大量特殊的内置技术，科学家历时4年研制成功。

6月，自由大学的研究人员获得了柏林安全管理部门的许可，可以让这款帕萨特上路测试，但条件是，方向盘后面必须坐着一位驾驶员，即使他不触碰任何东西，例如方向盘、油门或者刹车。在一个特殊的测试场，研究人员获许进行无人测试。全自动汽车将按照遥控装置的命令行事，如iPad或者iPhone。乘客只需简单地点击屏幕便可命令汽车到达指定地点，最后在抵达目的地时命令汽车停止。罗加斯说：“这种汽车是汽车共享的完美选择。如果采用共享方式，你就不需要真正拥有一辆汽车。在送完一名乘客后，全自动汽车会再去接另一名乘客。”

用智能手机控制的坦克机器人

Desk Pets宣布TankBot（坦克机器人）正式发售，这款名叫TankBot的桌面小玩具有3种移动模式，包括自动模式（利用红外传感器导航避开障碍）、漫游模式（漫无目的地徘徊）和最重要的由移动应用程序控制模式（通过耳机插口可以连接通用遥控器，利用应用程序上的双操纵杆控制，目前已经可以支持iPhone和Android系统的设备）。

这款桌面小玩具TankBot售价为25美元（约合人民币160元），但是它的电池只能够维持15分钟就需要通过USB接口进行充电。对于开发者，Desk Pets还放出了一个他们的Android开源软件，如果想用它弄个独特的应用的话不妨试试。

搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

机器人总动员

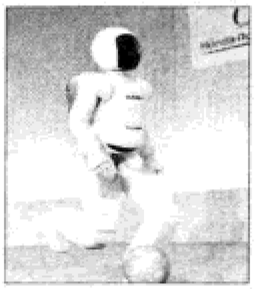
搜罗全世界关于机器人的新闻报给你听！

◎金今

本田公司发布新款ASIMO机器人

日本本田公司于11月8日发布了一款最新型的仿人机器人ASIMO。该款机器人通过装载自动控制装置，提高了自我控制能力，无需通过人类操作即可进行连续动作。

在智能方面，本田公司为其开发了新的系统，可综合各种传感器得来的信息，判断周围情况或决定自身行动。在行动进行过程中，ASIMO还可根据对方的反应来调整自己的行动。设计者将机器人的视觉传感器和听觉传感器进行了联动，因此ASIMO可通过同时辨认面部和声音，在同一时间内分辨出多人发出的语言信号，这些人类是很难做到的。



此外，该款机器人还提高了行动能力。较之前而言，它的脚部活动范围有所增大，同时还加入了新的制动技术，可在行动中变更着地位置。因此，ASIMO可连续进行走、跑、倒跑、单脚跳、双脚跳等动作。如此一来，即便在凹凸不平的地面上，它也可以平稳行走，并可根据外部情况的变化做出更为灵活的反应。

机器人手掌部位内置了触觉传感器，5根手指处内置了力量传感器，每根手指都可独立操控。再加上综合了视觉和触觉的物体识别技术，使得该款机器人可进行细致作业，如拿起瓶子、拧开瓶盖、将瓶中液体注入柔软纸杯等。据悉，这款机器人还可做出手语等比较复杂的手指动作。

微型捕虫机器人

不知你是否听说过捕蝇草这种食虫植物，它通过叶片捕捉虫子，吸收营养。当有小虫闯入时，叶片能以极快的速度将其夹住，并分泌出消化液来消化吸收养分。近日，美国缅因大学的研究员Mohsen Shahinpoor根据这种植物发明了一个机器捕蝇草。

这款微型捕虫机器人原型机的工作原理与自然界中的捕蝇草相似。该项目的负责人Mohsen Shahinpoor补充说，两片“叶子”上的聚合物膜是涂上了黄金的电极，再由一个铜电极相连，当昆虫飞到叶子中间时，它上下扇动翅膀会发出信号，致使捕虫器的叶子闭合，从而捕捉到昆虫。

下一步研究将会放在如何把捕捉的昆虫转变成能量，实现机器人自给自足上。利用昆虫身体发电的机器人已经被发明出来了，只要将这两项技术结合起来，人类将能为机器人带来一种全新能源。

德国科学家研制出机器人拖拉机

机器人拖拉机由法兰德斯机电一体化技术中心（FMTC）和鲁汶大学生物系统部机电一体化、生物统计和传感器（MeBioS）系研制，第一台原型机刚刚在奥德纳尔德的第30届国际农业和园艺机械化日中亮相。

FMTC项目工程师埃里克·贺斯登斯如此介绍该拖拉机的导航系统：“我们首先安装一个线性推进系统，它按压气动踏板，实施驾驶操纵。我们给拖拉机配备了一台机载计算机，安装了多个位置传感器，包括GPS系统。”他说，这些修改完成后，最重要的挑战是构建驾驶系统，有效地接管司机的工作。“拖拉机司机的工作相当复杂，只有经过严格训练、经验丰富的司机才具有在农田精确工作的技能。他需要观察当前位置，基于地面条件和应循路线做出判断，并以此确定拖拉机的速度和方向。而对于机器人拖拉机来说，这一切都必须整合到自动驾驶系统中去。该系统依靠GPS实时获取位置变化信息，并相应做出自我调整。”

现场不断变化的地面条件，对开发机器人拖拉机也是特别严酷的挑战。FMTC的格雷戈里解释说：“拖拉机必须既能在硬地，又能在湿地条件下行驶。自动化拖拉机需要针对地面类型相应地更换设置，这是传统的导航系统无法处理的。我们开发了卓越的驾驶系统，对当前的地面条件能有直觉，能预估车轮的打滑程度，并基于模型计算出最佳速度和转弯半径，实时地适应当前的地面类型。”

MeBioS的博伟达·塞依斯教授说，随着有机耕作的到来，农业机械精确转向的重要性愈发显现，这套智能化驾驶系统可以精确到厘米级，这对机器人拖拉机的实地运行是至关重要的。

机器人创魔方复原新世界记录

就在几个月前，会摆弄魔方的机器人Ruby曾创下10.18s的机器人魔方复原记录，而人类目前速拧魔方的世界最快纪录是由澳大利亚的菲利克斯·曾姆丹格斯（Feliks Zemdegs）创造的5.66s。

不过，这一记录日前被一台名为CubeStormer II的机器人打破了，这台机器人由名叫迈克·道布森（Mike Dobson）和大卫·吉尔迪（David Gilday）的两位牛人制造，它复原一个三阶魔方的速度达到了惊人的5.35s！这台魔方机器人主要由乐高Mindstorms NXT模组拼装完成，它的“大脑”则是一台运行着定制的Android应用的Samsung Galaxy S II手机。手机上的摄像头用来检测魔方的每个面是否都被复原，而与此同时，机器人的4只机械手则在不停地工作。人们可以自我安慰一下，我们扭得不如机器快，只是因为手没有机器多。

世界上首个能边弹钢琴边唱歌的机器人

最近一名意大利男子花费4年心血制成的一款机器人让，人们眼前一亮。它是世界上首个能边弹钢琴、边唱歌的机器人，此外它还懂得察言观色，和周围的人类进行交流。

这个机器人被命名为特奥特罗尼科（Teotronico），造价超过3000英镑（约合3万元人民币）。现年34岁的发明家马特奥·苏兹说：“特奥特劳尼克的左手负责低音键，右手负责旋律线，左、右手均有额外的手指。它的手指数量几乎是人类的两倍，能够向琴键施加更大的压力，是一个出色的钢琴演奏者。它的系统中存储了一系列歌曲，能够利用语音识别系统和面部表情与观众互动。特奥特劳尼克已经在很多私人派对上表演，成为嘉宾的宠儿。”

特奥特罗尼科身穿衬衫、西服，头戴礼帽，端坐钢琴前，双手快速按动琴键，奏出美妙音乐。仔细观察，可以发现机器人左手有10根手指，右手9根。19根手指令机器人弹奏速度快，没有任何一个真人能与它匹敌。与电脑相连，特奥特罗尼科能够演奏从古典到爵士，从蓝调到摇滚等多种风格的曲目，还能边弹边唱或者根据鼓点演奏乐曲。与一些音乐机器人前辈不同的是，特奥特罗尼科能与听众互动交流。它那两只圆溜溜的大眼睛后各藏一部摄像机，使它能够知道听众存在，并对话交流。

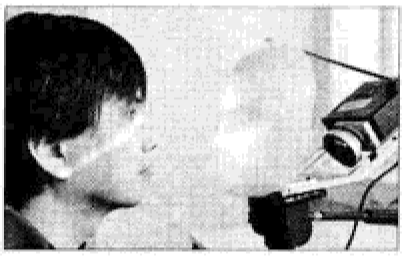
我国研制出摘棉花机器人

近日南京农业大学运用机器视觉技术，研制出能够采摘棉花的机器人，取得我国机器人技术的又一突破。采摘棉花是既耗时又费力的事情，新疆建设兵团每年种植700万亩棉花，为采摘棉花付出采摘费近4亿元人民币，人工采棉的成本相当大。我国首台摘棉花机器人田间试验一旦取得成功，将向国内主要产棉区推广应用，届时将会节省大量的人力、物力，节约成本，提高生产效率。

据南京农业大学教授介绍，机械采棉虽然效率能提高不少，但容易造成棉花优劣并收的尴尬，所以普通机械采棉的效果不一定尽如人意。而基于机器视觉技术的采棉机器人就比普通采摘机器聪明、灵敏许多，机器人在实际采摘时，眼睛里的工业摄像头配合图像采集卡就开始工作，采集棉花图像，进行图像处理分析，定位棉花坐标位置。靠近植株后，机器人通过机械臂关节转动完成棉花采摘动作。通过眼里的工业摄像头，机器人还能辨别出哪片地里的棉花质量好，哪片地里的棉花质量差，对所采收的棉花进行高、中、低档分仓归类。那些长得太差的棉花，它通常“置之不理”。

此项技术已经实现关键性突破，课题组将在姬长英教授的带领下，将棉花品级、成熟度识别程序移植到机器人的视觉系统，完成实验室整合试验，并在新疆建设兵团开展进一步的田间试验。田间试验一旦取得成功，课题组将向国内主要产棉区推广应用此项技术，并针对不同地域的棉花品种建立判别棉花品级、成熟度的数学模型，因地制宜地设计相应的应用程序并移植到机器人的视觉系统中。

发明家研制出“面具机器人”



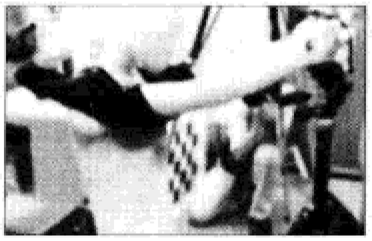
这款面具机器人由德国慕尼黑工业大学和日本的工程师研发，它能够轻微地转动头部，抬眉以及说话。这使得人类离研发出与电影《人工智能》中同类型的机器人更近了一步。

实际上，这些面部动作是用安装在面具后的投影机精确地照在人脸上而获得的。它制造出了即使从侧面也能看得到的容貌。

这款机器人的语言能力已经到达当听到词语“彩虹”就回复“当阳光穿透空气中的雨滴，它们就能起到棱镜的作用，反射光线从而形成彩虹”的程度。然而，面具机器人尚不能理解大多数的口语。

面具机器人的脸部源于由迪尼斯公司最先研发的电影技术，然而迪斯尼公司是从前方投影成像的，而面具机器人的制造者使用的是车载式背面投影机，确保了毫无阻碍的面对面互动模式。由于安装了一个特别的强光小型投影机，并且在塑料面具的内部涂有发光漆，使得面具机器人足够明亮，在日光下工作也能正常工作。

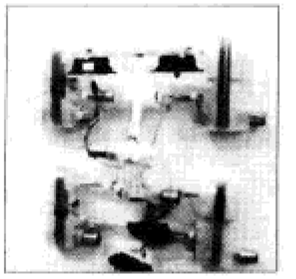
日本研制出可协助穿衣的机器人



日前，日本奈良尖端科学技术大学院大学情报科学研究科副教授柴田智广率领的研究组，成功研发出可帮助需要护理的老年人和残疾人完成穿衣动作的机器人系统。10月24日，研究组在各媒体前进行了实际操作演示。该研究成果还于10月26日在斯洛文尼亚召开的人形机器人研究国际会议上进行公布。

机器人所使用的2只机器人手臂由美国公司制造。在使用机器人时，需事先将人体模特的手腕放入短袖T恤衫的袖子中。首先，研究人员握住机器人手臂，用10s左右的时间将T恤衫领口套过模特头部。机器人利用这个机会记忆该动作，以便进行模仿。之后，即便模特的姿势有所改变，机器人也可以通过自主修正，经过数次尝试后将T恤衫套过模特头部。

加拿大研制出会爬墙的机器人



加拿大西蒙·弗雷泽大学的研究人员受壁虎启发，发明了一个可以爬墙的机器人Timeless Belt Climbing Platform（TBCP-II）。它可以依靠如同蜥蜴脚垫般的轮子攀爬光滑的墙壁和天花板，这一轮子是由纤维胶聚二甲基硅氧烷（PDMS）组成的。

TBCP-II仅重240g，可负重110g，它可以依靠传感器来探测周围的环境并躲避周围的障碍物。它可攀爬垂直的墙壁，并可在不使用吸盘、胶水或其他液态粘合物的情况下附着于表面，以攀越墙壁等物体突出的狭长部分，爬行速度达到3.4cm/s。

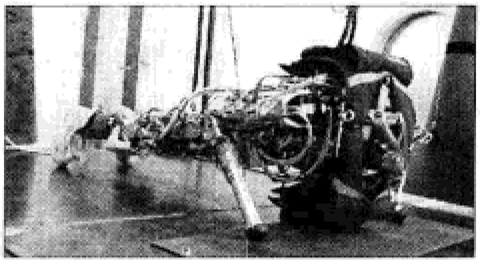
TBCP-II带有履带，履带上缀满了蘑菇状的聚合微纤维帽，它们只有0.017mm宽、0.01mm高。相比之下，人类头发约为0.1mm粗。正是有了上亿根的被称为刚毛的超细绒毛，壁虎才拥有了众所周知的毫不费力地迅速攀爬窗户与墙壁的本领。这些绒毛与攀爬物表面相互作用，产生了著名的分子引力“范德华力”。西蒙·弗雷泽大学的杰夫·克拉恩说：“虽然范德华力相对很弱，但是蘑菇帽提供的稀薄柔韧的突出部分，确保了机器人与物体表面的接触面积增至最大限度。”

美国研制出双腿类人士兵机器人

美国波士顿动力公司研制了一款名为“PetMan”的军用机器人，它能够像士兵一样活动手臂和大腿，还能够做俯卧撑。不过这款机器人不会在近期内应用于战区。

PetMan的速走和其他运动能力用于测试新防化服，以确保不会在化学战剂存在的情况下发生破裂。波士顿动力公司表示Petman是第一款外形与人类似、体型与人相当，并且能够像人一样行走的机器人，它的时速可达到7km/h。

此前用于测试防化服的机械系统只能以一种不切实际的方式压织物，而不是像人类那样实际运动进行测试。PetMan拥有很好的平衡感，在跑步机上奔跑时，即使被人用力推也不会摔倒。波士顿动力公司的工程师表示：“Petman可以取代人类，进入福岛反应堆等存在危险物质的地区。它们也可以登上船只或者进入建筑，执行灭火任务，还能够经受住化学战剂考验，在保持平衡情况下自由活动，或者完成其他一系列动作。此外，通过控制温度、湿度和出汗，Petman能够在防化服内模拟人类生理学现象，进行非常真实的防护服测试。”

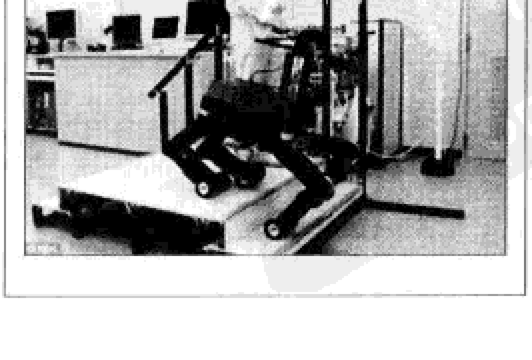


日本研制出机器导盲犬

日本精工株式会社（NSK）和电气通信大学研制出一款机器导盲犬，为盲人带去福音。借助于微软Kinect图像与距离传感器，它能形成障碍物的3D影像。在一段视频中，机器导盲犬领着一名戴眼罩的科学家上下楼梯，速度略慢于步行。在平坦的表面，这款机器人借助轮子加快速度，遇到崎岖的路面和楼梯时，则使用铰链式腿。它的爪子装有防撞传感器，帮助它避开障碍。最新的机器导盲犬原型设计更加完美，拥有比前一代产品更自然的骨架。

机器导盲犬由预先编好的软件控制，使用者可以通过向把手施加压力的方式进行操控。这款机器人会发出合成的女性声音，对主人的命令做出反应，通知主人前方的情况。NSK公司还为这款机器导盲犬增加了语音控制技术，以便盲人能与机器人更自然地进行互动。NSK公司表示，机器导盲犬还有很长的路要走，未来还将安装GPS装置，提供地图和实时结合的信息帮助出行。可以预见，机器导盲犬对于盲人和部分视力障碍患者将是相当宝贵的伙伴。

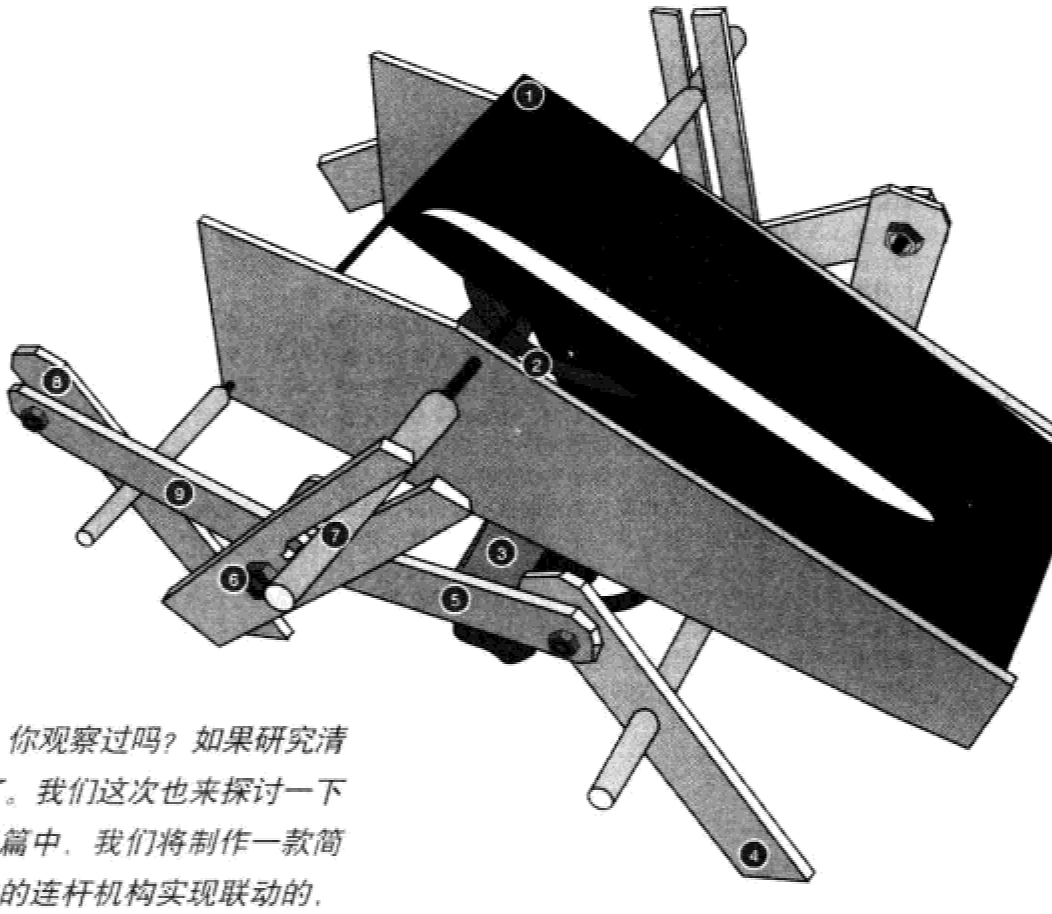
机器导盲犬从2005年开始研发，目前仍处在研发阶段，无法与真正的导盲犬相提并论。



6足机器昆虫入门篇

PVC-Robot 15号

◎Plenilune ◎插画：刘少冉



机器人的结构

❶ 太阳能电池板
❷ 控制电路
❸ 带减速齿轮箱的电机
❹ 前足 ❺ 前足连杆
❻ 中足 ❼ 中足限位杆
❽ 后足 ❾ 后足连杆

昆虫爬行时，它们的6条腿都是如何迈出的，你观察过吗？如果研究清楚这种运动方式，你就可以制作6条腿的机器人了。我们这次也来探讨一下这个很基础也很实用的仿生学课题。在基础入门篇中，我们将制作一款简单的机器昆虫，它的腿部关节都是直接以机械式的连杆机构实现联动的，所以不用担心各关节之间的协调问题。

本次介绍的是一个6足机器昆虫，即模仿有6只脚的昆虫进行爬行运动的机器人。这个机器人的控制电路还是那BEAM Robot常用的太阳能脉动充放电控制电路，而重点则在机械结构的设计及其行走步态的控制上。

基本原理

这款机器昆虫利用“摆动曲柄滑块机构”原理，把减速电机的旋转运动转换为驱动腿迈步的往复摆动运动，再结合简单的连杆结构，协调6条腿按照昆虫的步态规律实现爬行运动。

1. 运动方式

昆虫爬行想必大家都见过，但是由于昆虫的6条腿还是多了些，而且一般昆虫的动作都比较迅速，观察起来有点眼花缭乱，所以可能很多人并不是很了解昆虫爬行时这6条腿是如何协调动作的。而要做好6足爬行机器人，就要清晰地了解这6条腿每个阶段的步伐状态，也就是我们常说的“步态”。

实际上，一般的昆虫，是以3条腿为一组，两组交叉进行协调运动的。同一时间内，有一组也就是3条腿着地，另外一组的3条腿是离开地面的，然后两组交替切换往前爬行。我们都知道，3点可以确定一个平面，即3条腿可以保证整个身体的平衡，这也许就是很多昆虫都是长了6条腿的主要原因吧。

图1所示是6足昆虫爬行步态的分解，以前进方向为例进行说明：

（1）静止时6条腿同时着地。

（2）前进时，先迈出第1组3条腿(左前、右中、左后)，第2组3条腿（右前、左中、右后）着地。

（3）第1组3条腿往前迈出着地后保持不动，然后换第2组3条腿往前迈出。

（4）第2组3条腿往前迈出着地后保持不动，再换第1组。

（5）如此循环往复，同一时间保证有一组3条腿着地以保持身体的平衡，并不断往前行进。

2. 驱动机理

机器昆虫对于6足的驱动力量有一定要求，所以借助减速电机所具有的“低转速、高扭矩”的特性来实现。本项目6足中的中间两足是主动足，由减速电机直接驱动，而采用的减速电机同样也必须要满足两个条件：

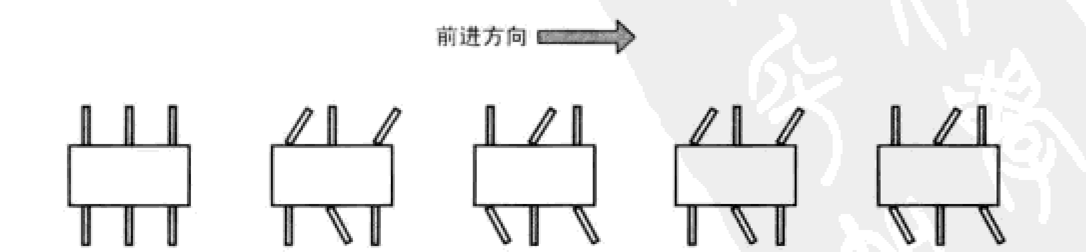


图1 昆虫爬行步态分解

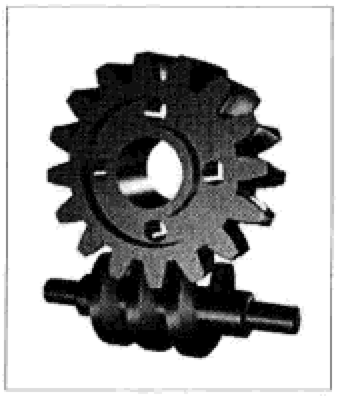


图2 蜗杆传动机构

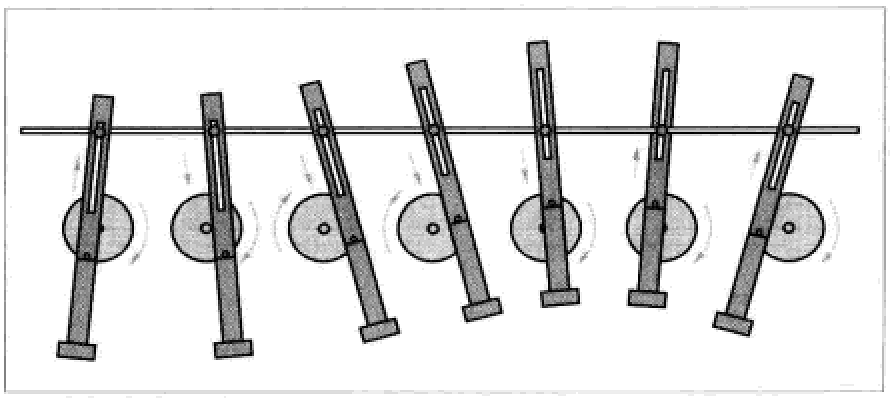


图4 摆动曲柄滑块机构

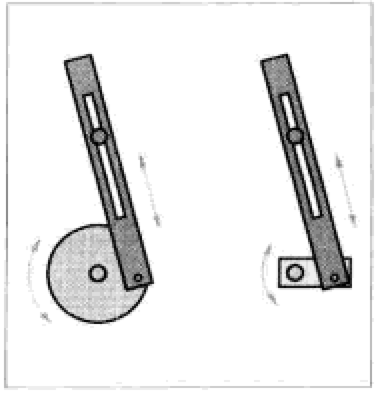


图5 连杆的两种形式

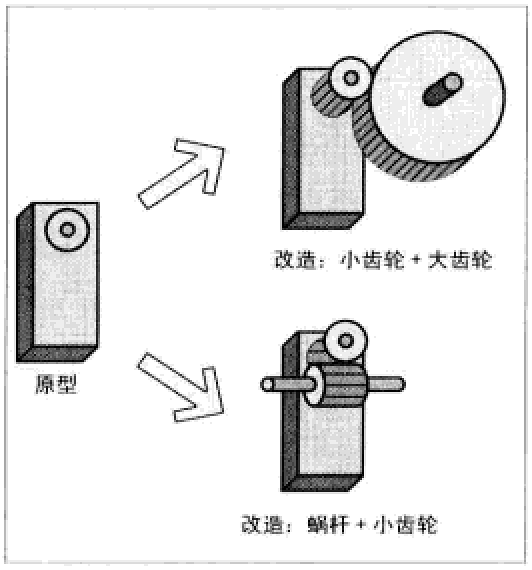


图3 改造减速电机的两种方法

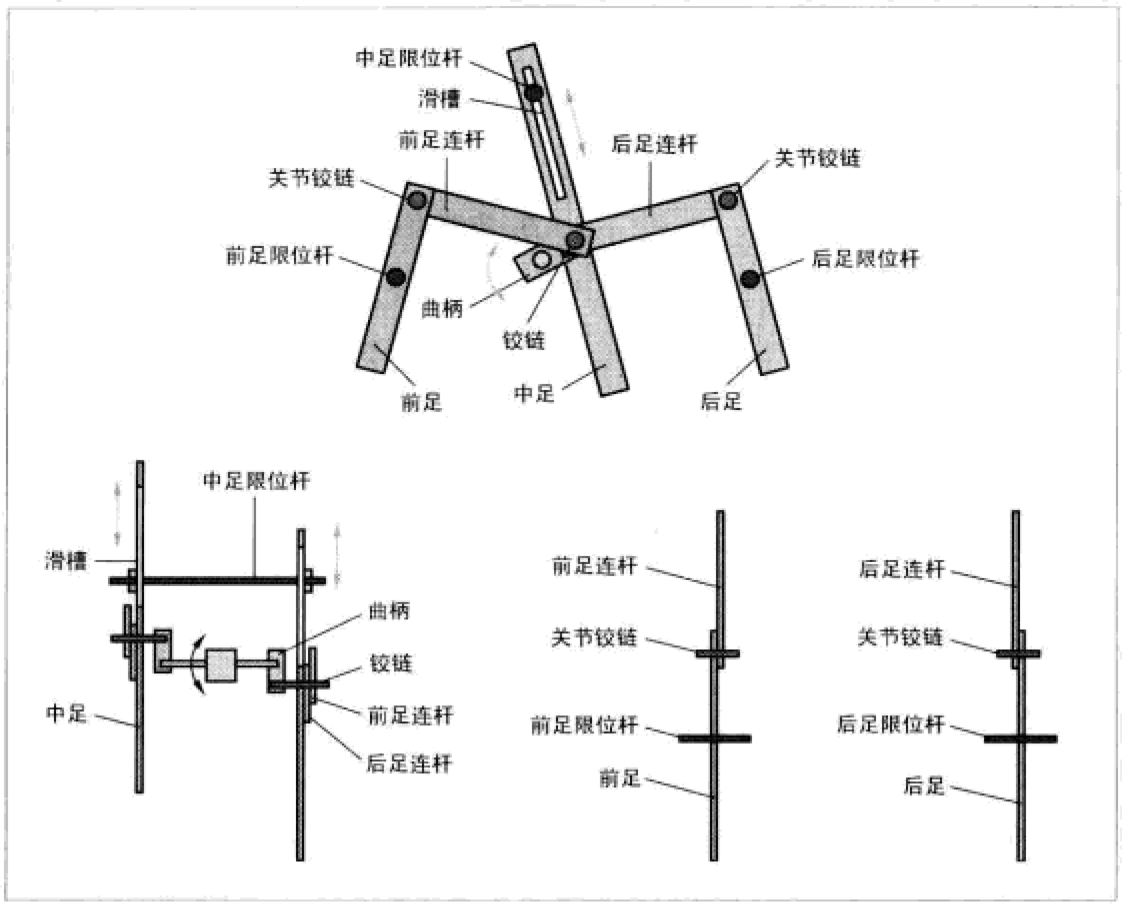


图6 6足联动设计

（1）拥有足够的动力，能够支撑双足行走。

（2）减速电机左右两侧同轴输出。

为此，需要利用蜗杆传动机构对现有减速电机进行改造。所谓“蜗杆传动”，是指由蜗杆与蜗轮（齿轮）互相啮合组成的交错轴间的齿轮传动，一般蜗杆为主动件。蜗杆传动是在空间交错的两轴间传递运动和动力的一种传动，两轴线间的夹角可为任意值，常用的为90°（如图2所示）。另外蜗杆传动还具有自锁特性，一般蜗杆为主动件，只能由蜗杆带动齿轮，不能由齿轮带动蜗杆，可用在一些防止被动件反过来带动主动件的情况。

可能有朋友会问，为什么不全部采用常规齿轮，还要用蜗杆呢？确实，通常情况下我们可以全部采用常规齿轮来减速，但是在这里受到减速电机的形状和体型的制约，不得已而借助了蜗杆来减速。假如采用常规齿轮，较小的齿轮不好安装，齿轮轴会顶住电机；而大齿轮虽然便于安装，可以让齿轮轴远离减速电机，却导致减速比太大，最终可能会把输出的转速降得过低，导致机器人行动过慢。假如采用蜗杆，可以配合小齿轮，同时利用蜗杆机构能够让转轴的方向垂直改变的特性，既确保减速比不至于过大，也不会因为顶住电机本身导致安装不方便（如图3所示）。

机器昆虫实现6足爬行的机械结构，其实是一种连杆机构——摆动曲柄滑块机构（如图4所示），这个机构驱动6足的中间两足，然后再通过连杆带动其他4足联动。图5为摆动曲柄滑块机构应用在本项目中的运动过程示意图。

图5所示为两种一样的摆动曲柄滑块机构连杆，前者采用了离心圆盘作为转动结构，而后者则采用了曲柄作为转动结构，两者本质是一样的。为了加工方便，一般多用后面的曲柄结构，本项目也是如此。

为了让机器人的两组脚能够交替向前迈进，曲柄滑块机构直接驱动6足的中间2足，前后其他4足则是通过简单的连杆机构进行联动的，如图6所示。中足用了左右两套相同的连杆机构，且为同轴的方式安装，但两个连杆铰链结合的位置正

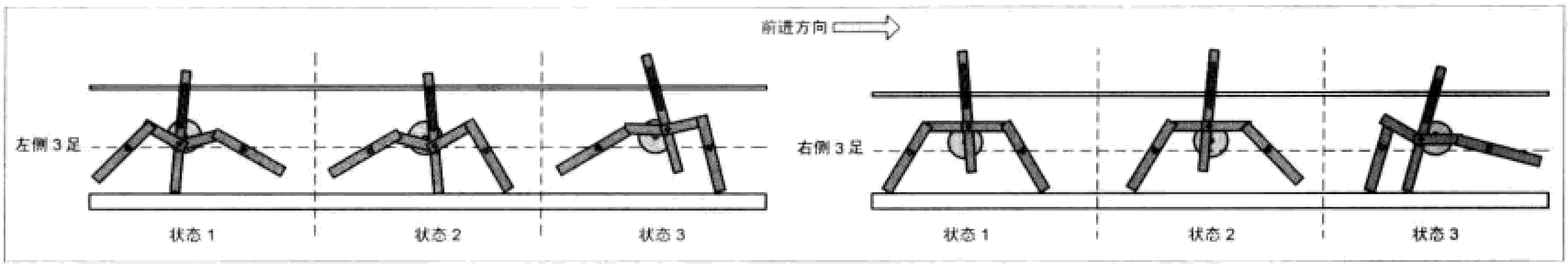


图7 6足联动状态

好相反，即分别位于转盘直径线上的两端；也就是曲柄的位置正好相反，使得左右两套连杆机构在同一时间上运动的状态刚好相反。前足和后组分别通过连杆和中足的曲柄相连，同时前足和后足也由限位杆控制住摆动的范围。图7为6足通过连杆进行联动的示意图，同一列状态下的两个图为同一时间左右两侧各足的状态，可以看到，任何时候都有3足着地，保持住身体平衡。

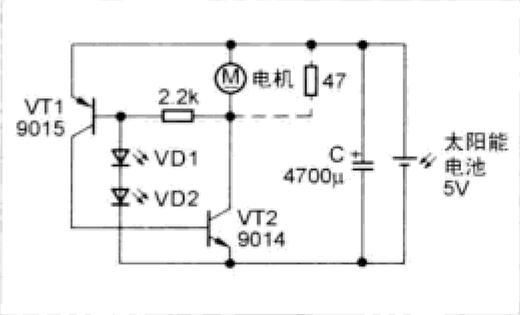


图8 6足爬行机器人的电路图

3. 电路原理

与之前的几个PVC-Robot一样，本项目采用的还是那个经典的太阳能脉动充放电控制电路，由于本刊第4期介绍PVC-Robot 3号时已经对该电路原理进行了详细的分析，这里不再重复。不过由于PVC-Robot 15号采用了额定电压为5V（以前为3V）的太阳能电池板，电路设计相对以往有了些变化。

（1）为了充分利用电能，电路充电的电压上限需要加大，原来的一个LED变为两个LED。

（2）由于电路电压较高，假如使用了功耗比较小的电机，在光线较强的情况下，放电的速度跟不上充电的速度，就会导致电路处于一种“半导通”的死循环状态，无法正常运行。为了解决这个问题，我们可以考虑在电机两侧并联一个47Ω的电阻（色环：黄紫黑金棕），如图8中电机两侧用虚线连接的电阻。当然，如果采用功耗大一些的电机，这种情况并不是总会发生，请根据实际情况来处理。

准备工作

本项目需要的材料主要包括：PVC线槽、带减速齿轮箱的小电机、太阳能电池、电阻、电解电容、二极管、三极管、螺丝、螺帽等，如图9所示。主要的器材都可以从网上购买，表1列出了采购成本。由于有些器材是批量采购的，而制作一个机器人用不了那么多（剩下的可以留待以后使用），所以另外加了一项成本折算。

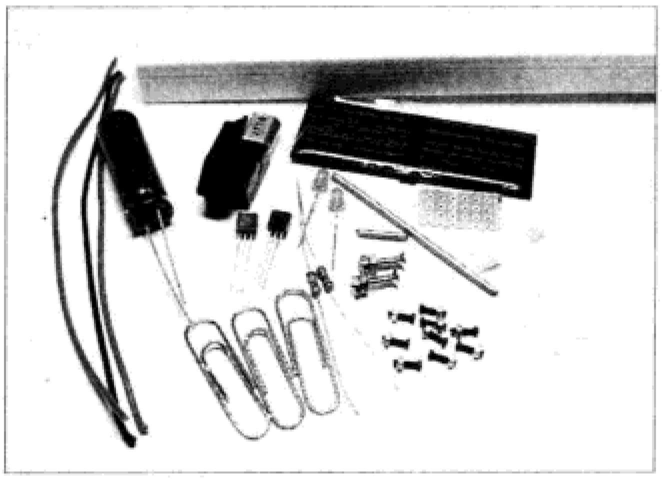


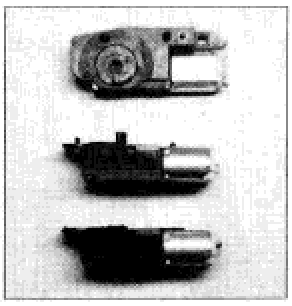
图9 制作所需的材料

表1 制作所需的材料与成本

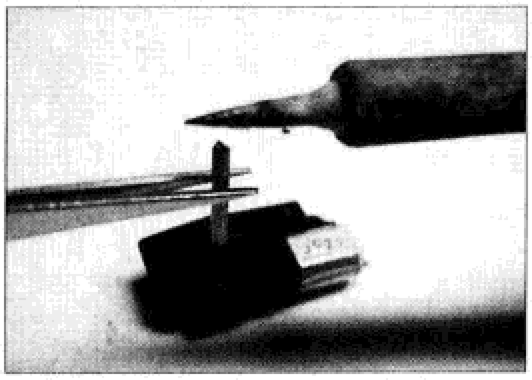
名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
PVC线槽	2.5cm宽	1段	4元 / 0.5元	主要结构材料
小电机	带减速齿轮箱的微型电机	1个	3.5元	动力
太阳能电池	5V	1片	2.5元	电源
电阻	2.2kΩ	1个	8元 / 0.03元	电子元件
电阻	47Ω	1个	0.03元	电子元件
电解电容	4700μF	1个	0.4元	电子元件
发光二极管	LED（绿）	2个	0.16元	电子元件
三极管	9014、9015各1个	2个	4.5元 / 0.15元	电子元件
电路板	电路板/实验板/万用板/洞洞板	1块	1.5元	电路板
蜗杆	模数0.5，孔径1.9mm	1个	4元 / 0.5元	减速机构
小齿轮	模数0.5，孔径1.9mm	1个	0.5元	减速机构
转轴	直径1.8mm铁丝/钢丝	2段	0.5元	齿轮轴/驱动轴
曲别针	文具回形针	3个	0.03元	限位杆
M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	9颗	4元 / 0.36元	固定PVC材料
M2×10螺丝	直径2mm，长10mm	2颗	4元 / 0.08元	曲柄铰链
M1.2螺母	孔径1.2mm	9颗	15元 / 1.35元	固定螺丝
M2螺母	孔径2mm	4颗	0.08元	固定曲柄铰链
M2垫片	孔径2mm	6片	3元 / 0.18元	铰链垫片
合计			63.08元 / 15.78元	

制作过程

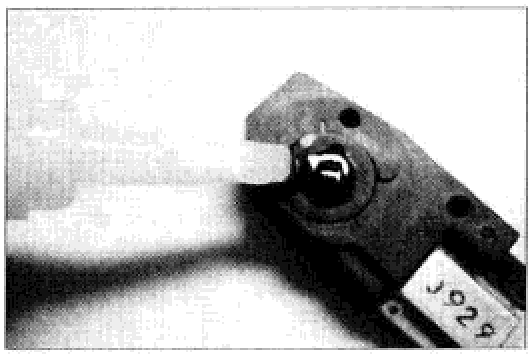
1 下图最上方为减速电机的正面俯视图，中间为其侧面俯视图。我们可以看出减速电机正面有4个作为安装卡位点的突起，输出转盘上有一个小长条突起，需要用刻刀或裁纸刀把它们削掉，最下面为削掉后的样子。



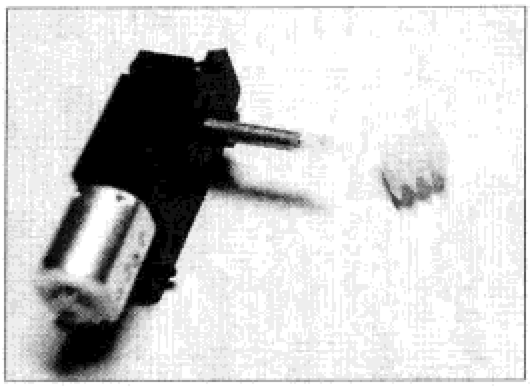
2 目前减速电机没有转轴，只在输出转盘上有一个安装孔。截取一段直径1.8mm、长度大约1.2cm的铁丝或钢丝，作为减速电机的输出转轴。由于其直径比转盘上的安装孔直径（1.4mm左右）要大一些，而转盘本身又是塑料制作的，可以用镊子把转轴夹住，借助电烙铁对输出转轴加热，然后趁热直接插入塑料转盘中。注意调整转轴的角度，尽可能确保转轴与转盘之间完全垂直。特别需要注意，转轴不要插入过深，以免影响到减速电机的内部结构。



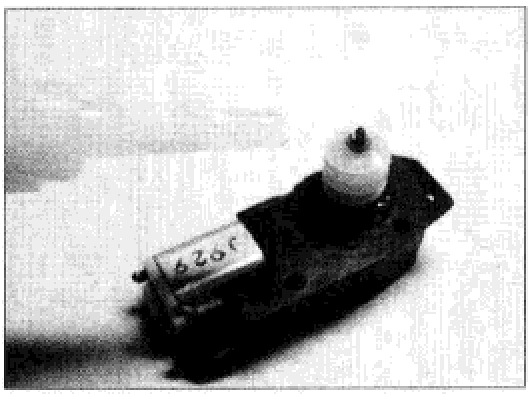
3 待转轴冷却后，可以先用钳子把它拔出来，然后往被扩大了的安装孔中滴入502胶水，并在周围也涂上一些，但是特别要小心不要涂到转盘之外，以免影响转盘的正常转动。由于502胶水渗透性强，干得快，使用时要格外小心，可以用牙签之类的工具蘸着胶水涂到要粘贴的部位。



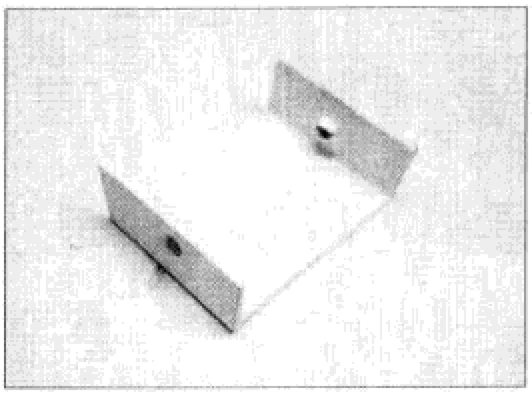
4 把转轴重新插入滴了502胶水的安装孔中，并调整好转轴的角度，确保转轴与转盘之间尽可能为垂直的。等502胶水干后，开始在转轴上安装蜗杆。因为转轴直径（1.8mm）略小于蜗杆（1.9mm），不好直接把蜗杆安装到转轴上，这时可以先剪一小段透明胶带，缠绕在转轴前端，并调整其长度，让蜗杆正好能够套上转轴，不松也不紧。



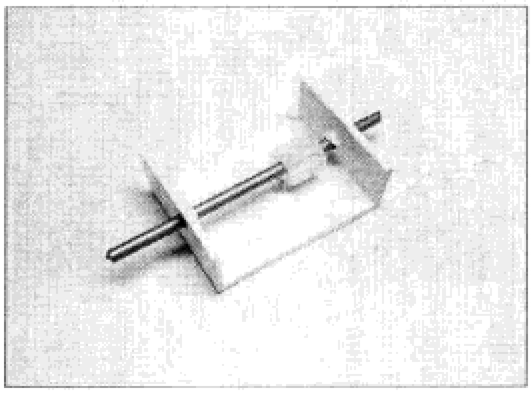
5 在包裹了透明胶带的转轴上涂上一层502胶水，然后把蜗杆套到转轴上，并在蜗杆和转轴的接合部位也涂上一些502胶水。



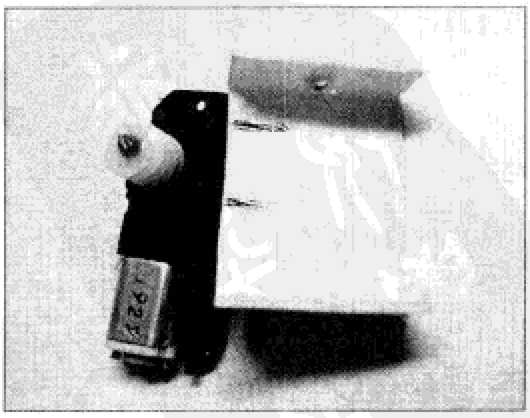
6 用剪刀截一段长2cm、宽2.5cm左右的PVC线槽。把凹槽部分顶上的卡槽剪掉，作为减速箱的外壳。然后在减速箱外壳两侧的中心位置，用锥子打两个直径2mm左右的小孔。



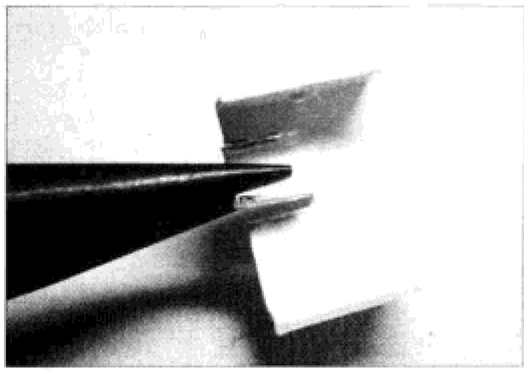
7 尝试把长度为4.5cm左右的输出轴套上小齿轮，安装到减速箱外壳上。



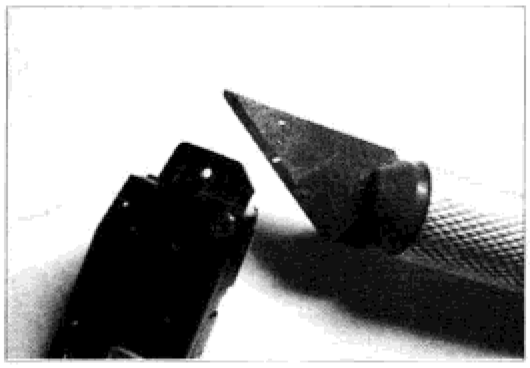
8 把减速电机对好位置，按照减速电机转盘的宽度再加大一些，在减速箱外壳上做好标记。



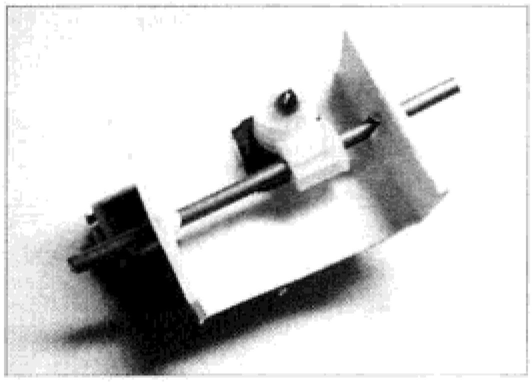
9 用剪刀沿着做好的标志剪开两个深1cm左右的槽，可以借助尖嘴钳把剪开的槽来回折几次后直接撕掉。再用刻刀或者裁纸刀把开好的槽周边都削平整。



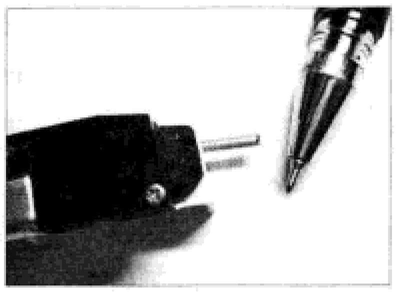
10 用刻刀或裁纸刀，把减速电机边上安装位上的褶皱削掉，并且用小钻头或烧热的铁丝在安装位上打一个小孔。



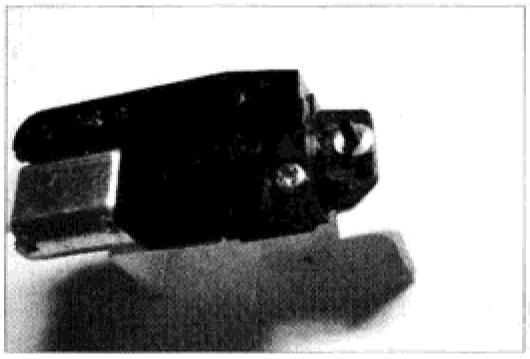
11 准备固定减速电机，这是相当重要的一个环节。减速电机上的蜗杆与小齿轮之间不能咬得过紧，否则有可能出现卡住、无法转动的情况。假如前面改造减速电机的环节没有让转轴垂直于转盘，也可能出现卡死的情况，所以必须适当保留一些空间。



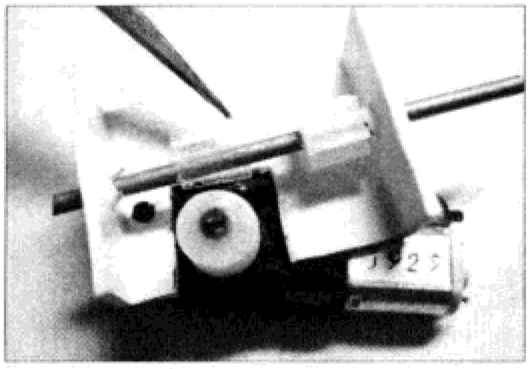
12 用笔对着减速电机背部的安装位小孔，做好记号。



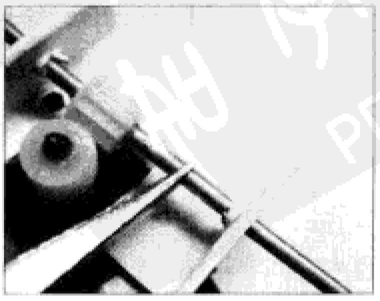
13 在上一步做好的标记上用锥子或者小钻头打好小孔，并且用M1.2螺丝和螺母把减速电机的一端固定起来。



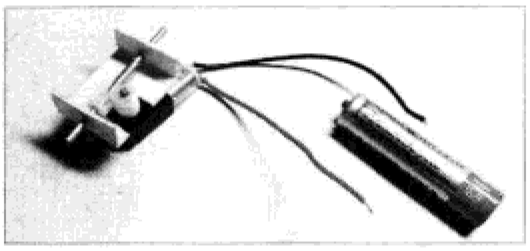
14 为了固定输出轴上的小齿轮，可以类似前面那样，在输出轴上对着蜗杆的安装位置，包裹一些透明胶带，让小齿轮不至于过松。在透明胶布上涂502胶水，再把小齿轮重新移回与蜗杆咬合的位置。



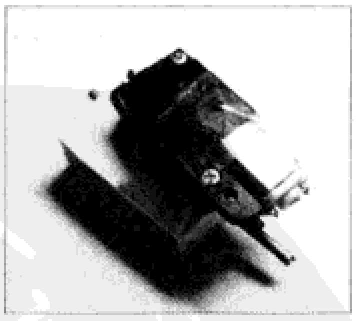
15 再用透明胶带在输出转轴上包裹一大圈，作为阻止输出转轴左右摆动过大的限位卡管。该限位卡管可以用透明胶带多包一圈，再用502胶水粘住，注意不要把转轴与外壳粘在一起。



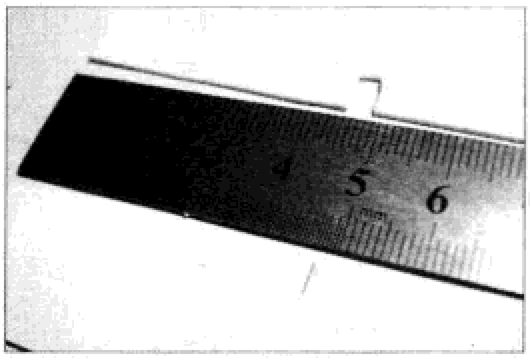
16 给减速电机接上电源，测试是否能正常工作，并调试减速电机的安装位置。由于电机的电极比较小，如不熟练，则不容易给电极上焊锡，建议可以涂上一些焊锡膏后再尝试焊接。由于焊锡膏有一定的腐蚀性，所以焊接后要用纸巾或者抹布擦干净残留的焊锡膏。



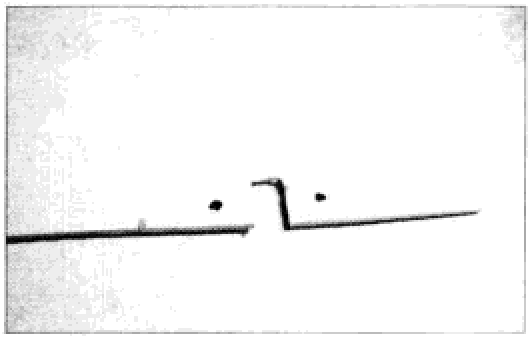
17 让减速电机一边转动，一边调整蜗杆与小齿轮之间的距离。调整到合适的位置后，用透明胶带把减速电机固定起来。这种一端用螺丝固定定位，另一端用透明胶捆绑的安装方式，对于无法非常精确地扩展减速电机的输出转轴（多少都会有一些偏差）的情况非常有好处。因为用加热转轴插入塑料转盘来扩展的输出转轴，可能会有些歪斜，蜗杆转动的过程中有时会紧咬齿轮，有时又会松开齿轮，使用这种方法既可以防止偏离、脱落，又带一定的韧性，使得蜗杆与齿轮间不至于固定得太死板，导致转动不顺畅。



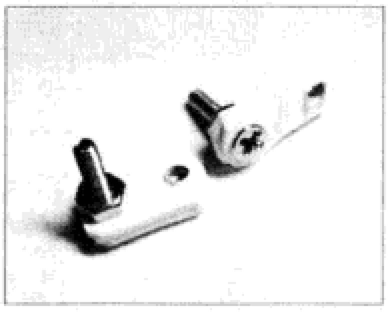
18 剪两块长7cm、宽2cm的PVC方块作为外壳，并在距离边上4.5cm的位置，剪开一个缺口。



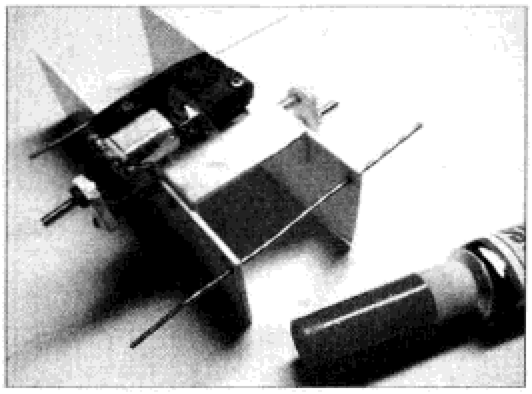
19 在缺口两侧用锥子各打一个小孔。



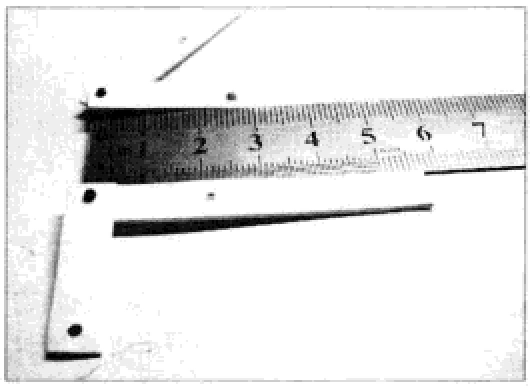
20 剪4块长1.2cm、宽0.6cm左右的PVC方片，并在两侧用锥子打上小孔。然后用M2×10螺丝和M2螺母把两块PVC方片固定在一起，做成曲柄。



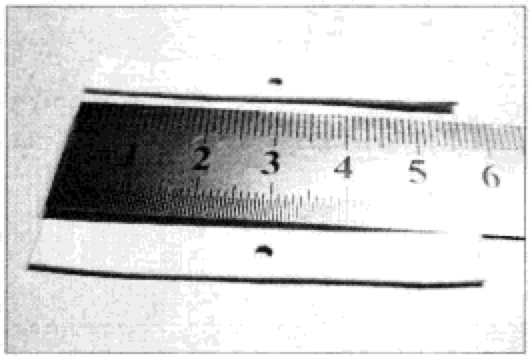
21 把外壳用M1.2×5螺丝和M1.2螺母固定在减速箱上，让外壳上的缺口正好可以把减速箱的电机转轴穿出来，并把曲柄套在电机的转轴上。减速箱输出转轴两侧的曲柄安装位置正好是相反的。然后在距离转轴两侧大约2cm的位置用锥子打好小孔，将作为限位杆的拉直的曲别针穿过小孔固定好，可以在接合的位置涂上少量502胶水固定好。



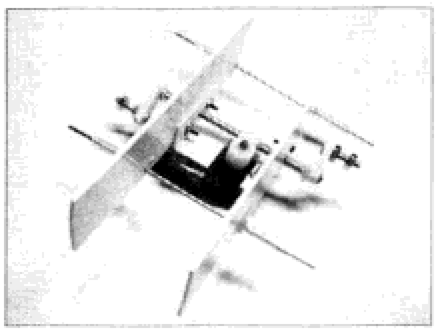
22 剪4根长3cm、宽0.8cm左右的PVC方条，作为前、后足的连杆。在连杆两侧都用锥子打好小孔。再剪4根长5.5cm、宽0.8cm左右的PVC方条作为2个前足和2个后足，并分别与连杆用M1.2×5螺丝和M1.2螺母连接起来。同时在前、后足离连杆大约2cm的位置用锥子打一个小孔，作为前、后足限位杆的安装孔。



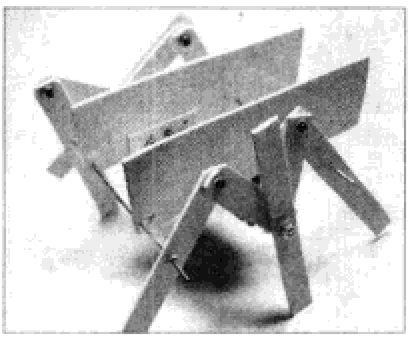
23 剪两根长5.5cm、宽0.8cm左右的PVC方条，在大约中心位置用锥子打一个小孔，作为两个中足。



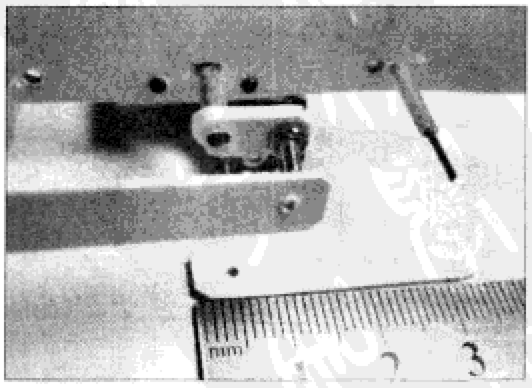
24 用透明胶带在前后足限位杆上缠绕几圈，做成与曲柄的固定螺母位置齐平的胶套。



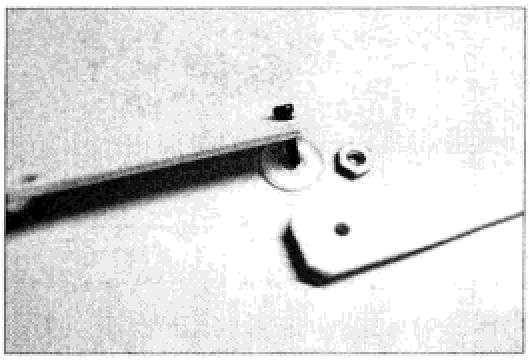
25 把之前做好的前后足、前后足连杆、中足尝试安装到曲柄以及限位杆上。特别要注意的是，整个机械连杆机构能否顺滑动作，可能会受到曲柄长度、连杆长度的影响，可以尝试给减速电机直接通上电源，看看能否正常转动并带动各足动作。假如连杆的长度不合适，可能会导致机构动作时被卡住。需要根据实际情况对连杆长度进行调整，包括各限位杆的安装孔位置可能也需要调整。至少要求前、后足连杆两侧小孔的距离要和限位杆与电机转轴的距离相当。



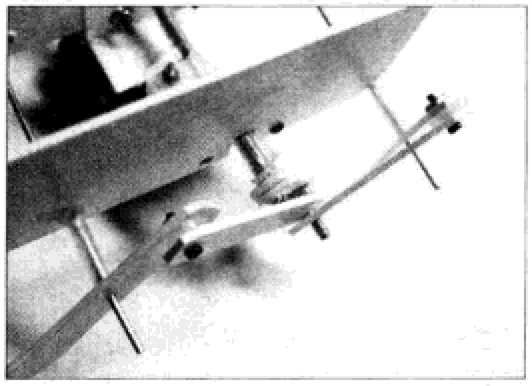
26 把前足连杆套入曲柄上用M2螺丝、螺母做成的铰链上。



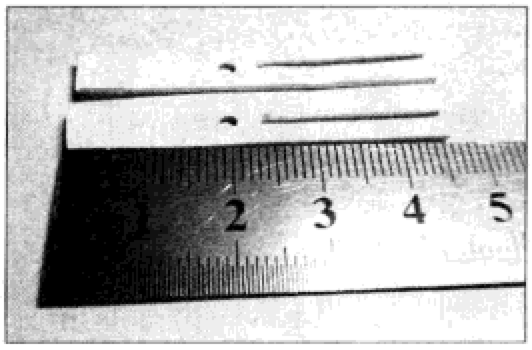
27 调整好前（后）足连杆的长度之后，正式把前（后）足连杆与 前（后）足之间用M1.2螺丝、螺母以及M2的垫片做成的铰链连接起来。



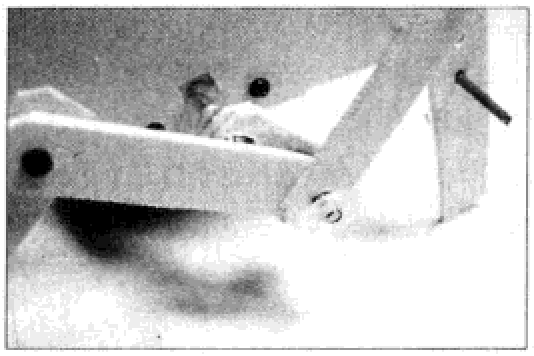
28 为保证前后足与连杆之间的顺滑，结合部中间放了M2的垫片。把M1.2的螺母拧好，不能太紧也不能太松，既保证前后足与连杆之间自由转动，也不至于因为过松动导致左右摇摆。然后再在M1.2螺母一侧，涂少量502胶水，让螺母与螺丝固定起来，不会随意转动。切忌不要用得过多，以免把前、后足与连杆整个粘起来。



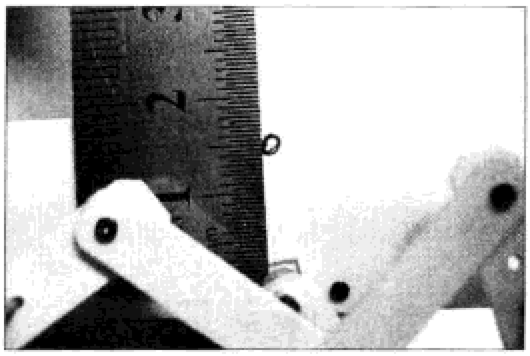
29 在两个中足上剪开长2cm左右的槽位。



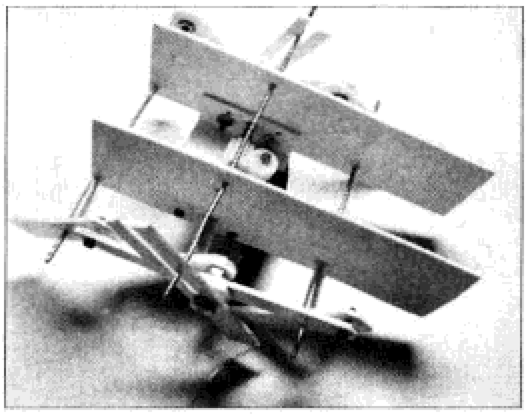
30 在已经安装了前、后足连杆的曲柄轴上，再垫入一个M2垫片，然后把中足安装上去。



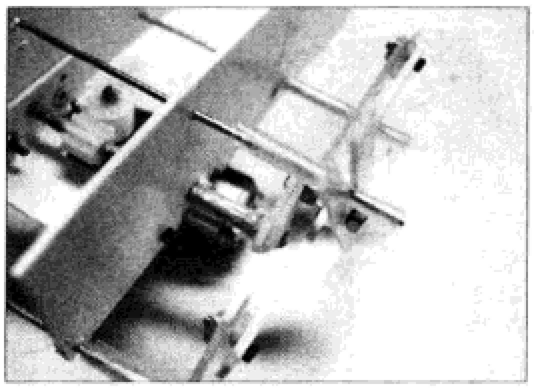
31 在减速箱输出转轴正上方约1.5cm的位置用锥子打一个小孔，作为中足限位杆的安装孔。



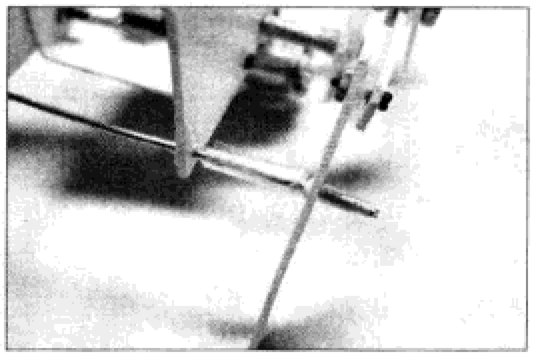
32 下面进行总装。把前、中、后足以及连杆都安装好，把用曲别针制成的中足限位杆也安装好。曲柄轴外侧拧上M2螺母，注意不要太紧。



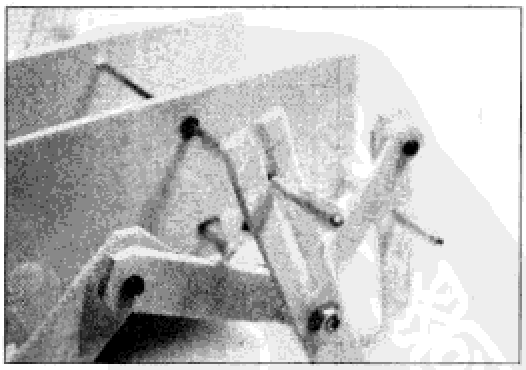
33 用透明胶带在套上了中足滑槽的中足限位杆外侧缠绕几圈，不让滑槽脱落，并在胶套外侧沾上少量502胶水固定起来。注意不要把滑槽也粘住了。



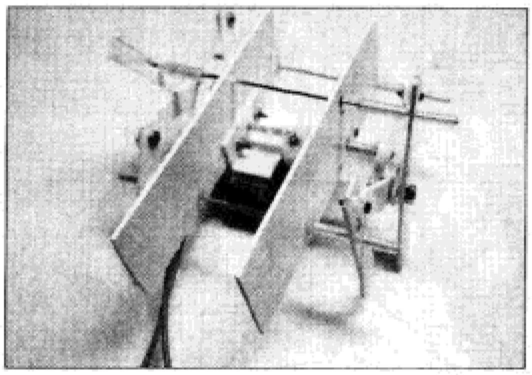
34 在套上了前、后足的前后足限位杆外侧，也用透明胶带缠绕多圈，防止前、后足从限位杆中脱落，并在胶套外侧沾上少量502胶水固定起来。注意不要把前、后足也粘住了。



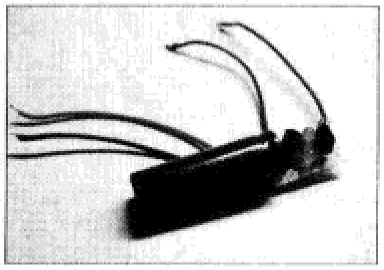
35 中足滑槽顶端可以用透明胶带封口，避免限位杆从上部脱落。



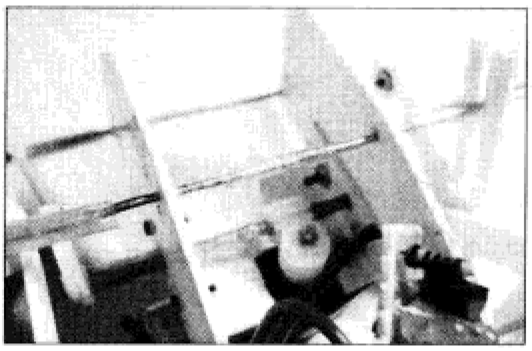
36组装好机械结构后，可以给减速电机接上电源，测试一下爬行的步态。



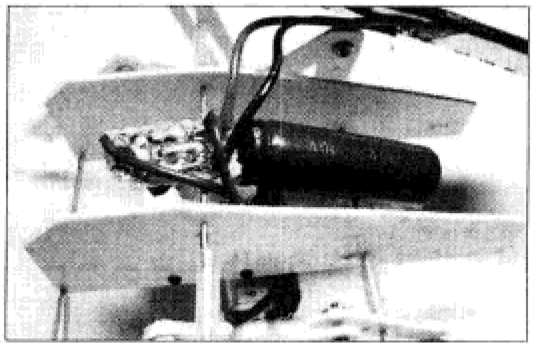
37这款机器昆虫的控制电路和今年第4期刊登的PVC-Robot 3号基本是一样的，区别只在于多了一个LED，关于电路焊接的说明这里不再重复。



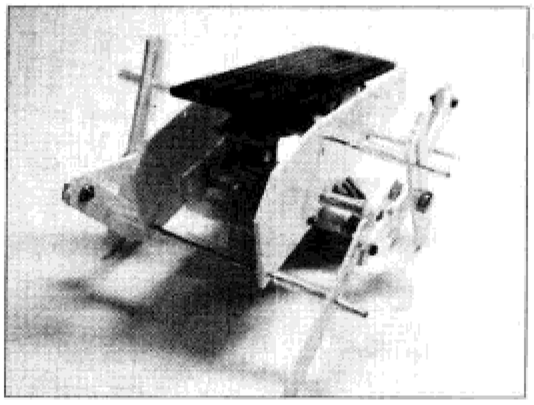
38尝试把焊接好的电路板与减速电机、太阳能电池板等连接在一起，如果正常，在太阳光下或者高亮度的白炽灯前，减速电机可以有规律地进行间歇转动。



39把控制电路板上的电解电容用透明胶带粘贴在前足限位杆上，然后把控制电路板搭载在中足限位杆上。为了避免电路短路，应该先在中足限位杆上缠绕几圈透明胶带，然后再把控制电路板搭上去。为了美观，可以用剪刀把减速箱两侧的外壳边角剪掉一些，并且从中足限位杆位置开始到前部剪成一个斜角。



40把太阳能电池板前部用透明胶带与外壳前部贴在一起，太阳能电池板后部再拉一条透明胶带并且连着后足限位杆。



调试完善

1. 步态调试

步态调试是制作多关节机器人的一个重要环节。与高级智能的多关节自由控制的机器人不同，这款机器昆虫的多关节都是直接以机械式的连杆机构实现联动的，所以不用担心各关节之间的协调问题，各关节是否能运动顺畅，主要取决于连杆、限位杆等结构的位置与尺寸是否合理，这些情况在机械结构的制作过程中就已经加以重视。

2. 电路调试

正常情况下，在阳光下测试，电机会有节奏地转一阵、停一阵，注意观察还会发现，在电机开始转动的瞬间，LED会有一点微光闪动。

如果小电机的电流比较小，有可能在太阳光比较强烈的情况下，电机转动一下就停止了，并且发出吱吱的小响声，

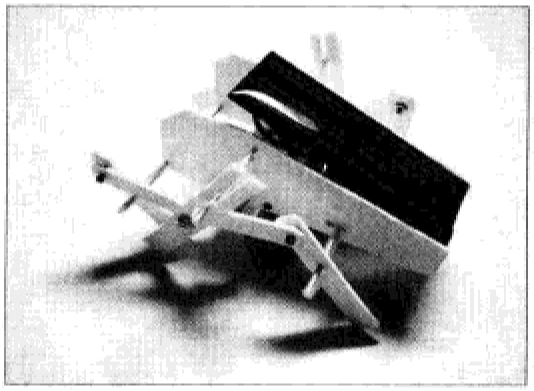


图10 PVC-Robot 15号机器昆虫完工的样子

这主要是由于太阳能电池板的电压较高（5V），而电机消耗电流比较小，电路放电的速度赶不上太阳能充电的速度，导致电路一旦导通就无法截止，要解决这个问题，可以在电机两端并联一个几十欧姆的电阻，如图11所示。

如果电机一直转动，没有节奏性的转、停，那是因为太阳能电池板的电压太高，可尝试多串联一个LED以提高电路充电阈值上限。

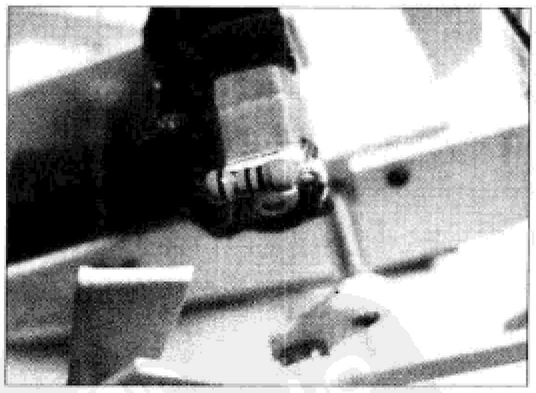


图11 电机两端可并联一个几十欧姆的电阻

如果电机不转，LED也不亮，可能是太阳能电池板的电压太低，也可能是光线不足或电路焊接错误。

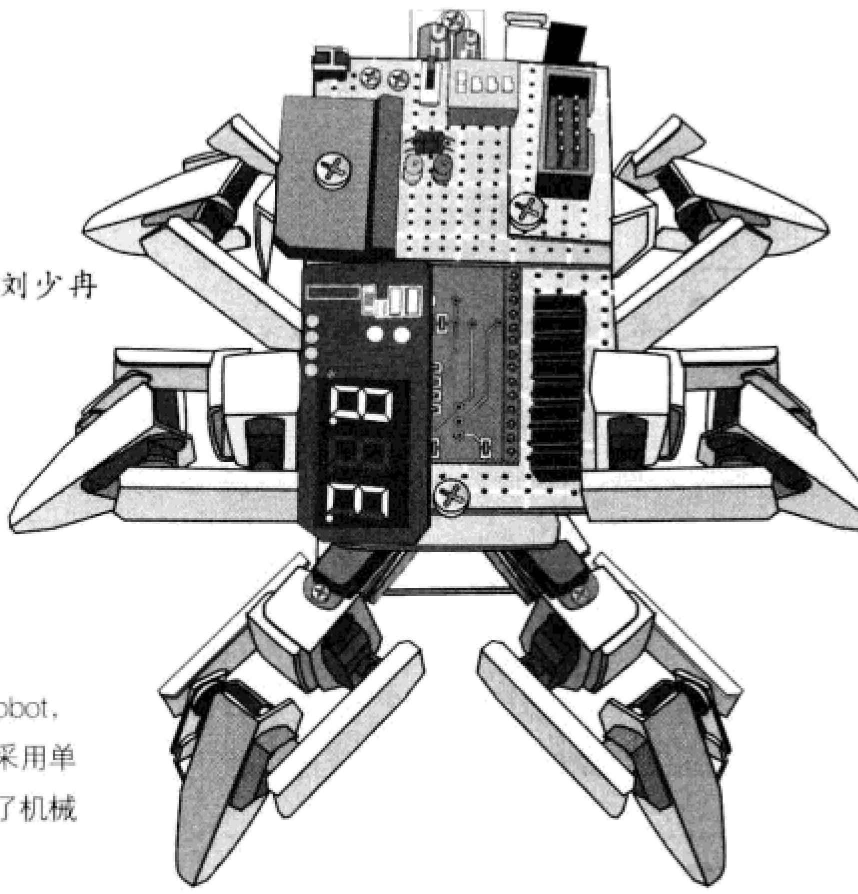
如果LED常亮，电路不触发，可能是因为电路焊接错误。

如果电机嘶嘶响，但是不转，那是因为电解电容容量过大，可尝试减小电解电容的容量。根据经验，一般耐压高、体积大的电解电容用在这款机器昆虫上效果最好。

6足机器昆虫进阶篇

◎Plenilune ◎插画：刘少冉

基于AVR单片机的6足机器昆虫



上一篇介绍的机器昆虫只是使用简单电路进行控制的BEAM Robot，在一些高手眼中算不上真正的机器人。在本篇中，我们将介绍一款采用单片机控制、具有多个可自由控制的关节的真正机器人。相信在积累了机械结构的制作经验后，你也能实现它。

一次偶然的机会，我在网上看到这张图片（见图1），于是自己也有了制作一只的冲动。为此，我自学了单片机，加上自己软件开发的基础，以及过去做模型积累的一些动手经验，就有了后来的这个机器昆虫。当然，最后制作出来的东西，样子和这个图片相去甚远，性能也一般，没办法，业余的，水平有限嘛。

基本机械结构的制作

关节和基础结构的制作材料都是PVC线槽。采用PVC线槽的原因是取材容易、价格便宜，一般的五金店都有卖，而且便于加工、强度和重量都合适。

1 把PVC线槽切成关节的形状。

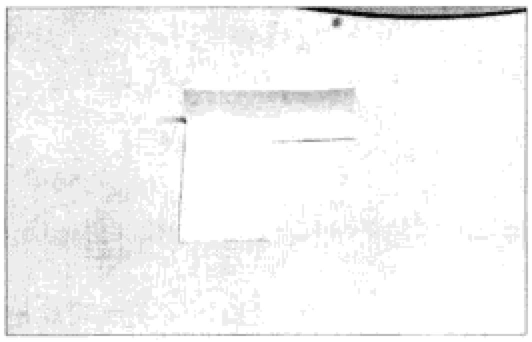
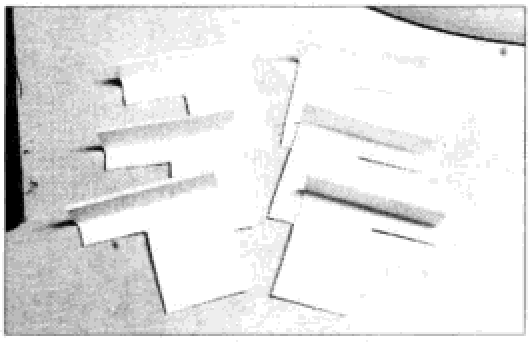
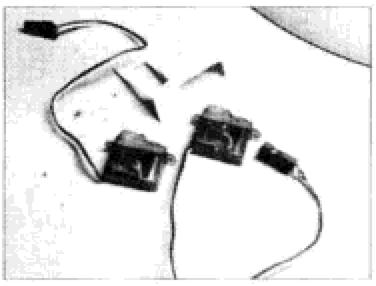


图1 网上所见的6足机器人

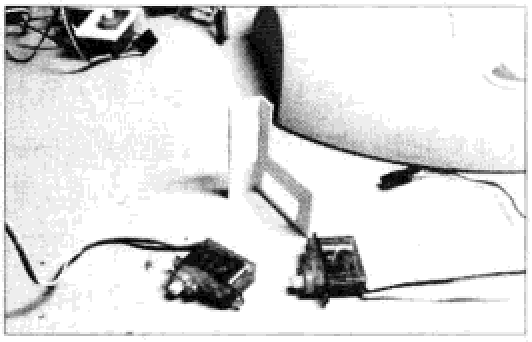
2 这是6只大腿横向关节，注意形状应该是两两对称的。我最初弄成全部都是一样的，还要重做3个。



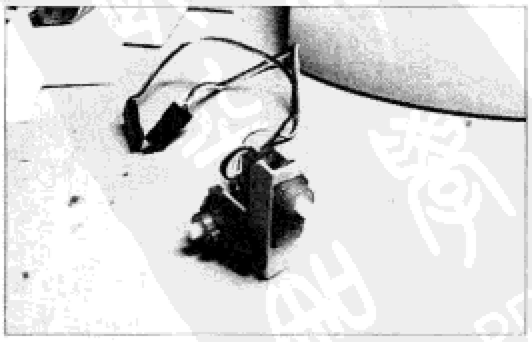
3 考虑尽可能地缩小体积，控制关节的舵机采用的是2.5g微型舵机。6只脚每只3个关节，总共18个关节，也就要用18个舵机。因为数量比较大，花费比较多，有点心疼。



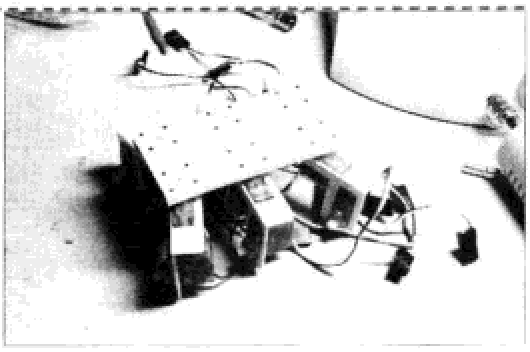
4 在关节件上开出两个槽位，用来安装舵机。其中一个舵机连接主躯干，另一个连接大腿的纵向关节。



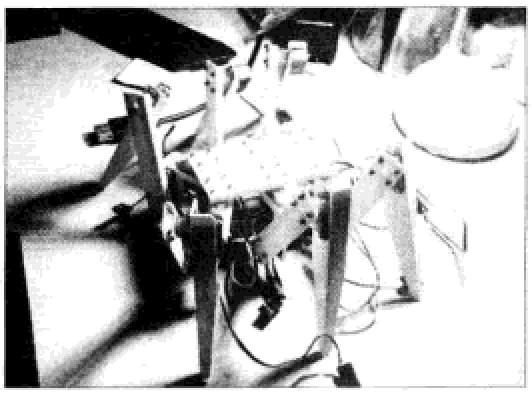
5 把舵机尝试安装到关节件上，然后进一步打磨修饰、完善关节件。



6 主躯干也是用PVC线槽做的，连接上6只大腿横向关节。关节舵机与躯干是靠舵盘连接的，每个舵盘使用4颗1.2mm、带螺母的小机牙螺丝固定在躯干上。中间有一个洞是用来在最后总装时嵌入舵机主轴的。

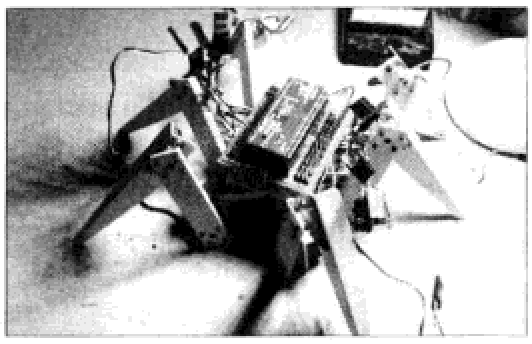


7 大腿纵向关节和小腿关节其实都差不多，只是形状有所不同。右图是组装好的完整机械结构，本来躯干上固定舵机舵盘的螺丝都是螺母在下面的，但是因为选择的螺丝长了一点，往下装会影响底部舵机的旋转，所以改为螺母从上装，虽然看起来难看一点，不过后面还会在躯干上再装上电路板，挡住一点，相对就好看一些。

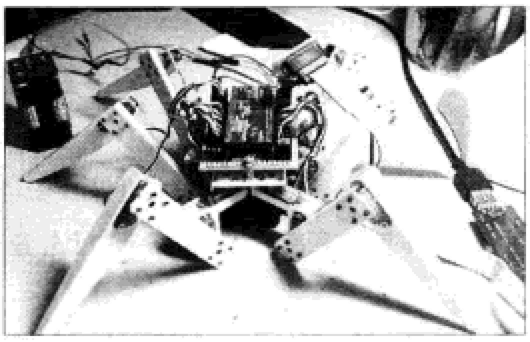


控制电路的制作

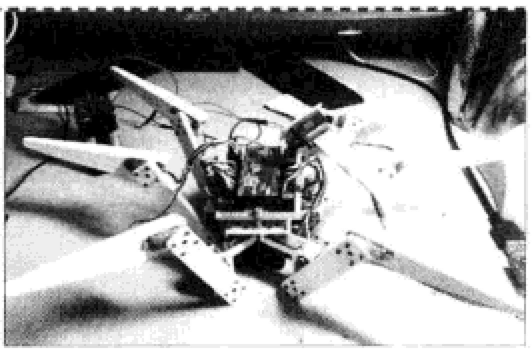
1 控制电路的核心采用AVR单片机的MEGA16芯片。考虑到体积，同时也想有点挑战性，我没有直接用现成的舵机控制板，而是用核心板自己写舵机控制程序。电池盒安装在底部，用2节7号大小的锂电池。



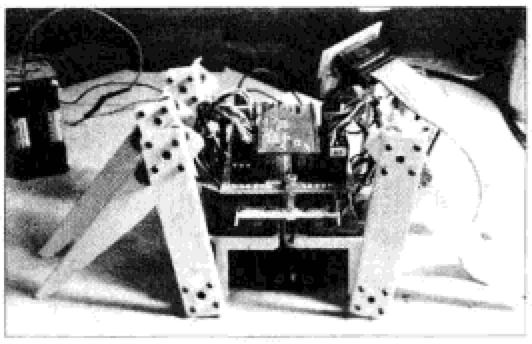
2 初步完成基本电路的安装后，连接电脑烧录程序，进行简单的舵机控制的调试。确定舵机动作幅度所需要的PWM频率时，用到了舵机测试器。除通过USBASP连接电脑外，电源也暂时用外接的电池组。



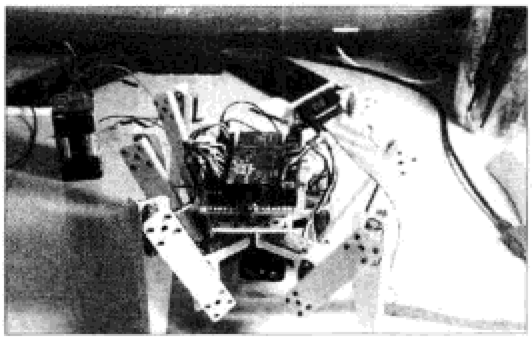
3 编好固定动作的程序，烧录到电路上，进行简单的动作调试。先来一个“张牙舞爪”的动作，很酷吧？不过肚子还是趴在桌面上的（肚子下面是电池盒以及6只大腿横向关节）。



4 再来一个“缩成一团”。这个动作的名字起得不怎么样，还是靠肚子顶住桌面的。

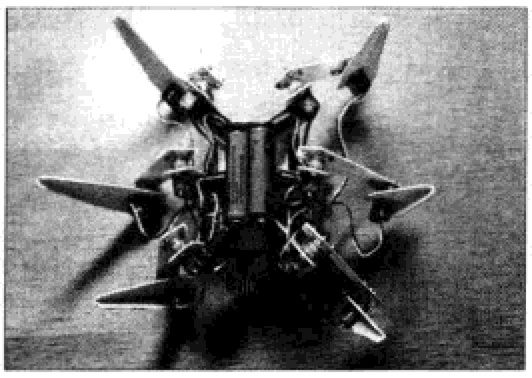


5 接下来是关键的一个动作——从趴着的状态下自行站起来。它完全靠自己的力量站起来了！虽然有点艰难，站起来后还是有点歪歪扭扭的，但终究是站起来了。不过由于舵机的力量不足，小腿必须是直的，斜的话就撑不起来。而且由于舵机力矩偏小，还有点吱吱的抖动。

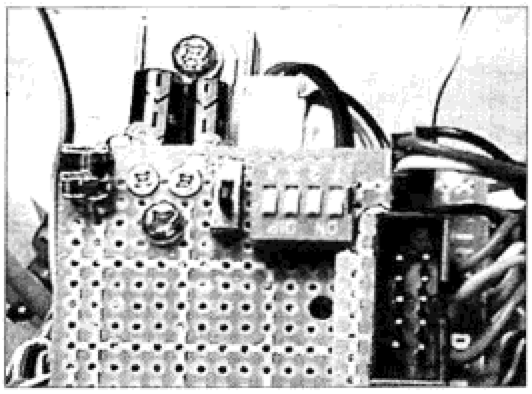


6 我开始曾经考虑过用2节5号镍氢电池，通过一个DC-DC大电流升压板升压到5V，给所有舵机供电。经实验后发现完全行不通——18个舵机需要的电流太大了，最后只能考虑直接用2节3.7V的7号锂电池串联起来供电。单片机本来考虑采用一节7号镍氢电池，通过一块微型DC-DC升压板升压到5V供电，为缩小体积，后来也考虑过用3V的CR2032纽扣锂电池升压，但实际调试后发现电流也较大，一下子就把电池耗光了。最后用一块7805稳压器直接接到2节锂电池上获得5V电压。我本来希望把舵机和单片机的电源完全独立分开，以避免干扰，可是最后只用了

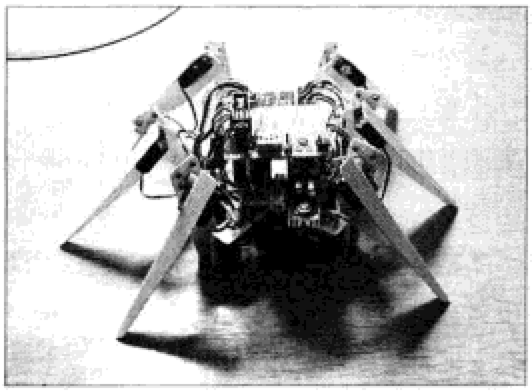
一组电池——舵机直接接电池，单片机通过稳压电路连接同一组电池。实践证明，中间的稳压电路还是能够很好地实现抗干扰的隔离功能的。



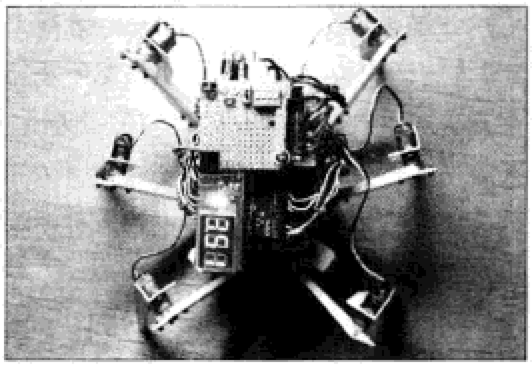
7 给电路加上几个控制开关（总电源、舵机电源、单片机电源、单片机复位），接USBASP的10Pin插座也固定在顶部的线路板上。另外顶部的电路板上还留了一些位置，准备以后接传感器用。



8 把2节7号锂电池都装上，在全重状态下，虽然还有一点抖动，但终究能够独立站起来，我终于松了一口气。这张图上还可以看到后面的带散热片的7805稳压芯片。



9 18只舵机的耗电量还是比较大的，所以我再加装了一块电池的电压监控板，可以实时看到锂电池的电压变化情况。接下来的工作还是在继续调试程序控制动作，考虑加上一些传感器并支持用红外或者蓝牙进行遥控。



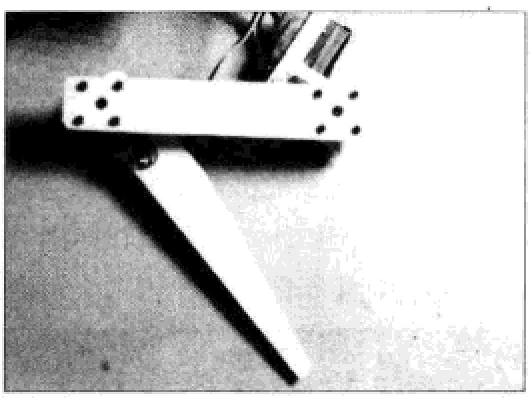
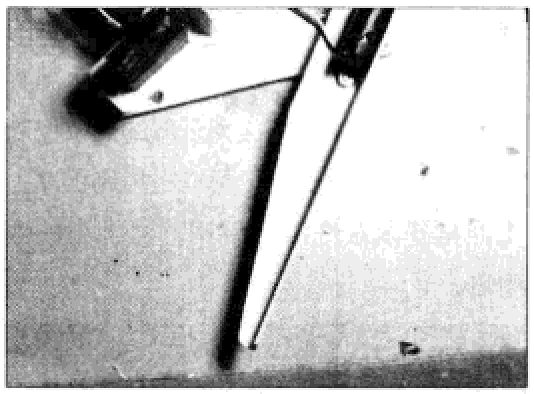
结构完善

1. 加强关节

原来的腿结构是直接对照原型CG图制作的，可能为了美观而忽略了实际的机械性能。为了动力更足，为了舵机的寿命，也顾不得保持原来的纤纤细腿了，我决定对腿的机械机构进行加固——该肥还是让它肥一点吧！

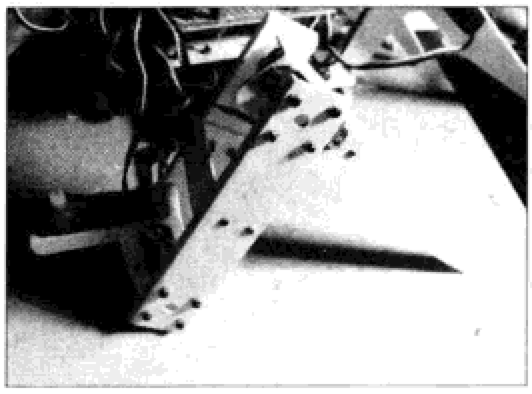
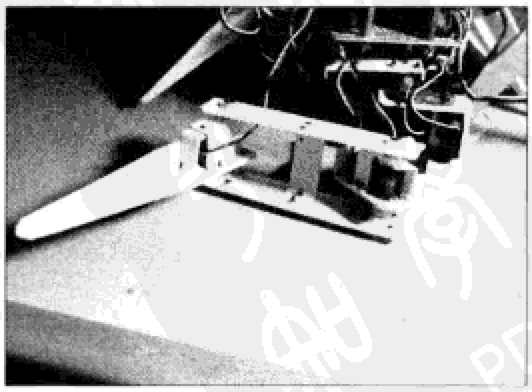
加固之前：腿各关节都是直接单边固定舵机的舵盘，有点单薄，力量分布不均衡，支撑起来不是很稳，对舵机的压力有点大，长时间开机容易损坏舵机。

Before

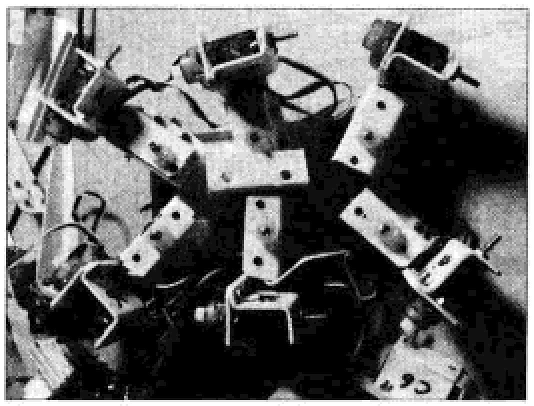
加固之后：按照传统的机械结构进行加强，即舵机的另一边也增加了固定的支撑轴，以确保受力平衡。同时，所有关节的舵机都加上外套，并在另外方向延长出一根螺丝作为固定轴。

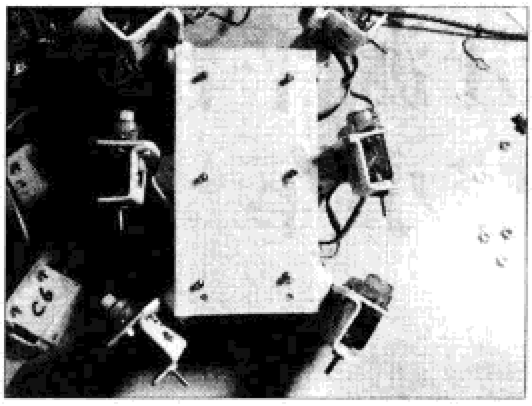
After

2. 安装加固底盘

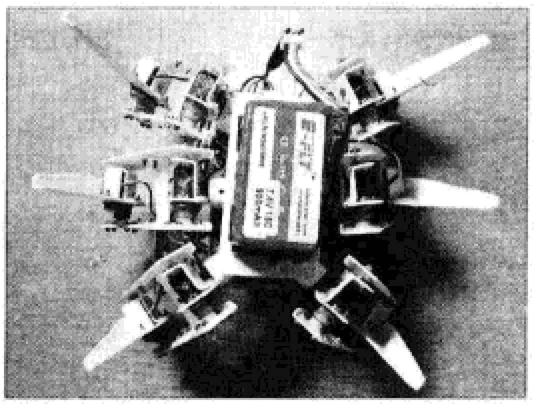
在底部加上一块底盘，连接大腿纵向关节。

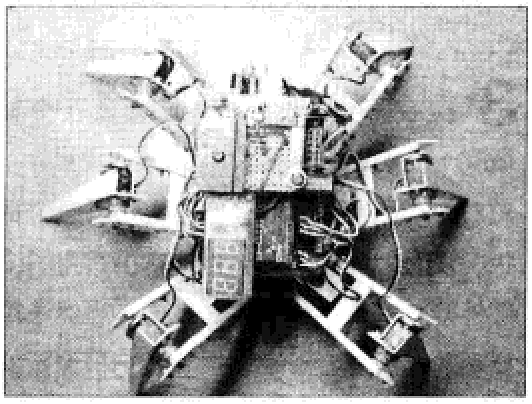




3. 加大锂电池容量

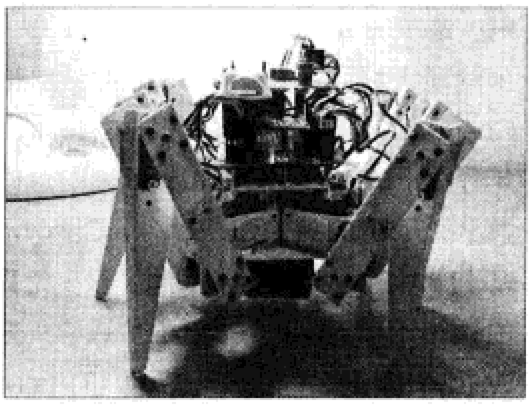
新换的锂电池的电压是7.4V，而舵机通常的最高电压是6V，为了保护舵机，延长其寿命，可以串联两个硅整流二极管降压。每个二极管可以降压0.7V，两个降1.4V，刚好可以把7.4V降到6V。由于要驱动18个舵机，电流非常大，一般的硅二极管功率不够，我干脆用了一个D25XB整流桥堆中的两个二极管。

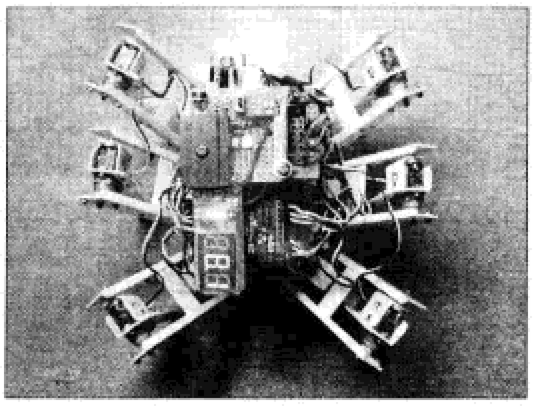




4. 增加指示灯

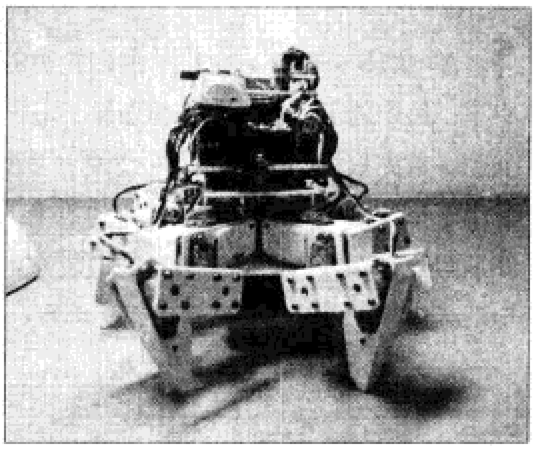
增加了两个LED，红的指示总电源打开，绿的指示舵机电源打开。

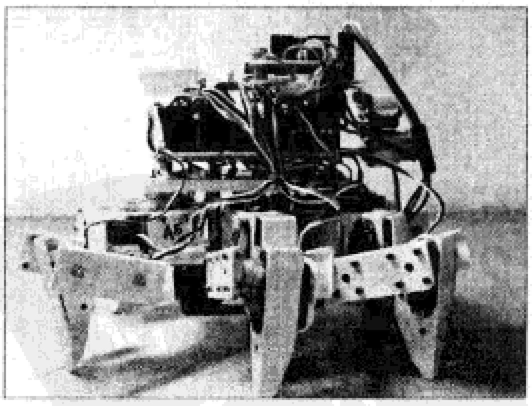




5. 缩短腿部长度

在设计行走步态的时候，我发现了一个严重的问题——支撑腿的力量还是不足。主要是由于追求小型化而采用最小型的2.5g舵机，由于舵机力矩不足，导致支撑腿力量不够，静止站立的时候还勉强，但在行走时就经常会发生“腿软”现象。为了解决这个问题，我曾经一度想要换成大一点的9g舵机，但这样做，由于尺寸会大很多，机械部件基本都需要重新制作，无异于重新做一个新的了。思考再三，我想到了把所有的机械腿都缩短，也就是减小力臂的长度，以降低对舵机的压力。 经过重新设计试验，把所有的腿都缩短了，虽然难看了不少，但是确实解决了“腿软”的问题。至此，这个6足机器昆虫也基本定型了。





初步行走

我模仿昆虫来设计步态，初步实现了这个机器昆虫的行走功能。不过动作还是有点生硬，整体动作的协调性还是和真实动物的动作相差甚远，主要原因还是在于调试比较复杂，而且舵机动作的精度不够高。暂时也只能先这样，等以后有精力和条件再慢慢完善吧。

■ 演示视频（多段）：http://u.youku.com/user_video/id_UMzA4NDk1MjU2.html

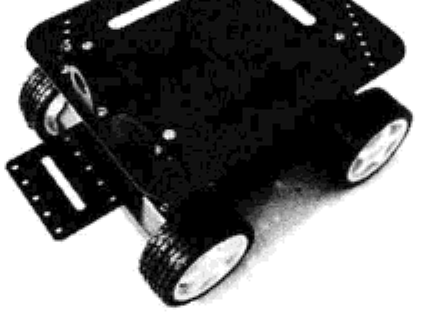
◎庄明波 ◎插画：肖娴

基于Arduino开源平台的Wi-Fi视频监控小车

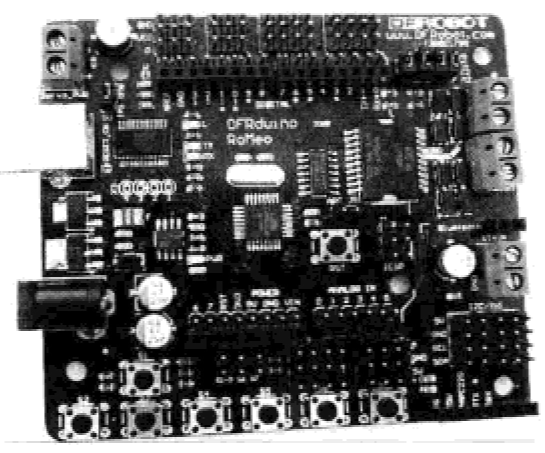
美国孩之宝（Hasbro）公司旗下玩具分公司WowWee推出的路威（ROVIO）机器人，是一个可以通过Wi-Fi无线局域网络控制、八方移动的机器人摄像机，使用者可以使用台式电脑、笔记本电脑、PDA、智能手机、PSP和Wii遥控手柄利用局域网或者通过Internet来进行远程遥控。路威机器人具有实时控制监控、声像传递、根据设定路线巡航与拍照、自动发E-mail等功能。当然，我们在这里不是要介绍这款产品，而是要介绍如何通过价廉的路由器搭建功能与路威机器人类似的Wi-Fi视频监控小车，而所有部件加起来需要1000多元就可以搞定，比起售价299.99美元的路威还是便宜多了。表1所示是材料清单。

小车的制作过程

1 A4WD是一个铝合金结构的四轮驱动小车，每个轮子都有一个电机驱动，马力强劲。首先根据小车附带的安装说明书装配小车车体，如图所示就是装好的效果。在底盘里面装了5节2300mAh的镍氢充电电池。



2 接下来安装ROMEO扩展板，ROMEO扩展板是一个基于Arduino开源平台的扩展板。因为全球DIY爱好者都在使用，所以提供了丰富的例子程序，基本上想实现的功能都能找到参考代码。Arduino封装了底层枯燥的寄存器操作，使程序开发都是基于应用的函数调用。输入、输出口的定义也非常直观，程序操作某个口，就对应硬件的某个接口。



3 安装两自由度DF15MG云台及中星微301摄像头，DF15MG云台可以上下、左右旋转。中星微301摄像头只有一个裸板，没有外壳，所以体积非常小，用一个红外开关的支架就可以装上去，当然还需要用热熔胶固定。在这里我还把摄像头的USB线减短了不少，以避免牵绊。

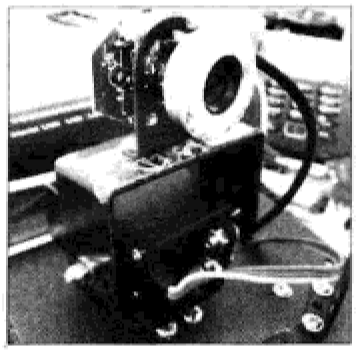
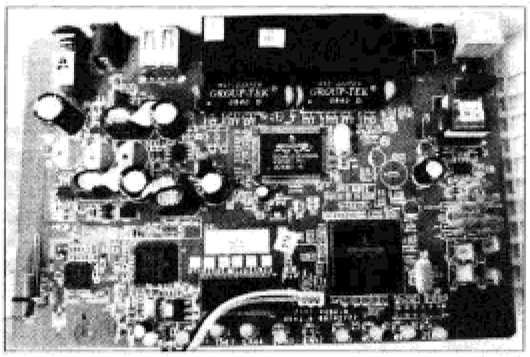


表1 材料清单

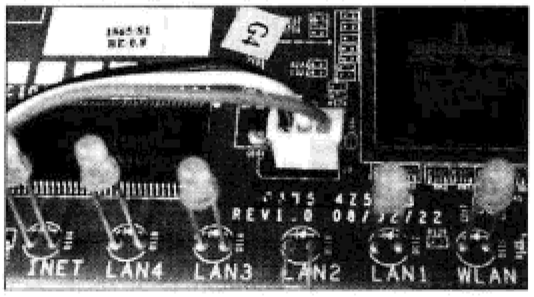
序号	材料名称	单价（元）
1	A4WD小车	205
2	ROMEO控制板	300
3	5节2300mAh电池	65
4	12V电池包	130
5	充电器	90
6	上海贝尔 RG-100A路由器	55
7	中星微301摄像头	20
8	两自由度DF15MG云台	259
	合计：	1124

4 最复杂也最重要的设备来了，那就是无线路由器。路由器需要支持OpenWrt，这是DIY爱好者根据Linksys当年释放出的WRT54G路由器固件的源码搞出的开源路由器第三方固件。OpenWrt基于Linux，Linux 为我们提供了很多免费的软件，我们可以用很低的价钱购买像WRT54G的硬件，做成一个小型的 Linux系统。现在OpenWrt已经提供了100多个已编译好的软件，而且数量还在不断增加，而 OpenWrt SDK更简化了开发软件的工序。更多关于OpenWrt的资料可以访问OpenWrt 中文论坛（http://www.openwrt.org.cn）来获得。

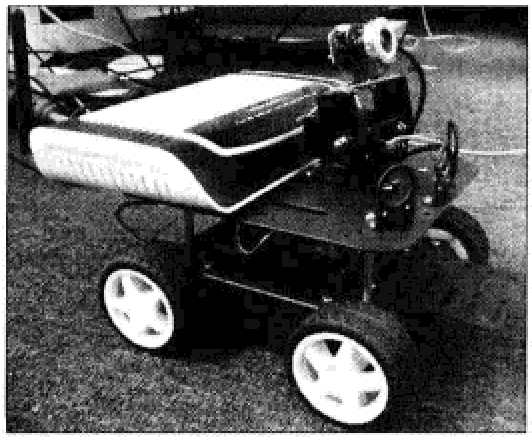
5 接下来我们要改造路由器。我最先购买的是大亚DB120路由器，配置和现在使用的贝尔RG100A一样，把机壳拆掉，将裸板直接装在小车上。不幸的是，莫名其妙地就烧掉了，所以建议还是在将必要的导线引出后再把塑料盖子装上。路由器的配置如下：BCM6358 300MHz处理器、32MB闪存、16MB内存。



6 将TTL电平的串口引出，线序为 3.3V电源输出、G（地）、T（数据发送输出）、R（数据接收输入），在这里只需要将 G、T、R这3条线引出来。我使用了一个USB转TTL的设备做测试，先看看路由器能否正常发送数据。



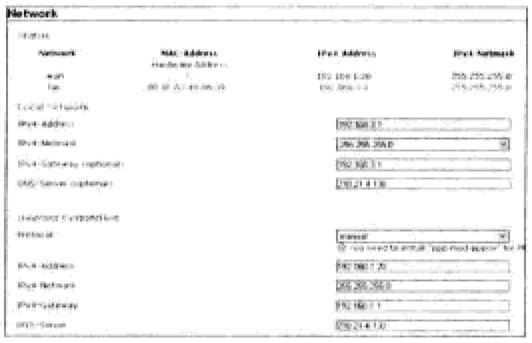
7 将导线从机壳后面引出后，就可以将外壳固定在小车上面了。



路由器的设置方法

1 路由器的设置在爱果联盟（http://www.igee.cn）上有介绍。首先将路由器通过网线连接到电脑，通过网线烧写固件 openwrt-RG100A_DB120-jffs2-128k-cfe.bin。这个固件支持RG100A和DB120这两种使用BCM6358处理器的路由器，其他使用这个芯片的路由器你也可以试试。具体如何烧写可以看http://www.openwrt.org.cn上的相关内容。烧写完毕后重启路由器，在浏览器输入“192.168.1.1”登录管理界面，用户名为root，密码为admin。

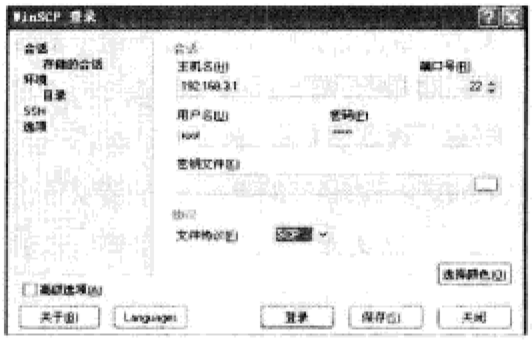
2 设置路由器，为了方便调试，把IPV4-Address设置成了192.168.3.1。



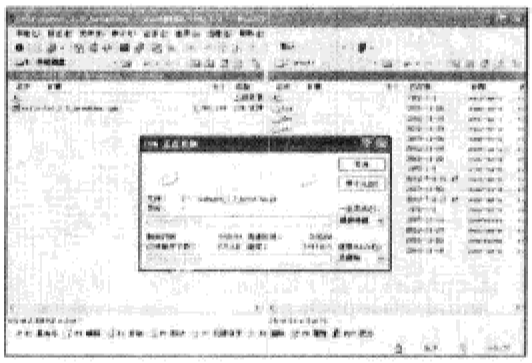
3 Wi-Fi参数，设置为AP，无加密。

4 设置一遍密码，我发现如果不设置一下，后面的putty软件就无法登录。设置完后重新启动路由器，等待跳转到登录界面。

5 安装WinSCP软件，这是一个在Windows 环境下使用SSH的开源图形化SFTP客户端，同时支持 SCP 协议。它的主要功能就是在本地与远程计算机间安全地复制文件。打开WinSCP，如图设置登录名、密码及其文件传输协议，点击保存，然后登录。中途会有几个错误警告，不用管。



6 用WinSCP将wifirobot_1.2_brcm63xx.ipk上传至路由器root下的根目录。



7 打开 putty.exe。PuTTY是自由的跨平台Telnet/SSH客户端，同时在 Win32和Unix系统下模拟xterm终端。输入网址后就可以登录远程设备。此时输入用户名root，密码admin，输入命令“cd /”、“ls”显示root目录的文件，这个界面有点像DOS，此时能看到刚才复制进去的wifirobot_1.2_brcm63xx.ipk文件。

修改第1个配置文件

#video_mod=gspca_zc3xx
video_mod=gspca_ov519 （这两个是摄像头驱动，有#的就是被屏蔽的，如果大家手上的301摄像头有花屏现象，可以换另外一个驱动试试）
ser_name=/dev/ttyS0（路由TTL口设置，一般都是ttyS0）
ser_speed=19200（TTL波特率设置，要改成19200才能连接ROMEO板）

8 输入“opkg install wifirobot_1.2_brcm63xx.ipk”执行安装程序。正常情况下会看到下图所示的进度且不会出现错误。安装完成后，请先重启路由器，然后输入“vi /etc/init.d/wifirobot”命令编辑wifirobot配置文件，2.6版需要修改两个配置文件，保存第1个配置文件后输入“vi /web/app_car.php”编辑第2个配置文件。编辑时，用键盘方向键移到需要编辑的地方，输入小写“a”进入编辑状态，编辑完后，按ESC退出编辑状态，将键盘切换为大写英文状态，连续输入两个大写“Z”即可保存退出。

9 输入“cd/”，再输入“ln-s/etc/init.d/wifirobot/etc/rc.d/S70wifirobot”，这样启动快捷就放到了init.d里面，wifirobot程序会随路由器自动启动。

10 用winSCP进到路由器root/etc/config目录下，可以看到network和wireless这些网络配置文件，我们再次配置网络。

修改第2个配置文件

define('TTS_NAME','/dev/ttyS0');（将这个的也修改成ttyS0）

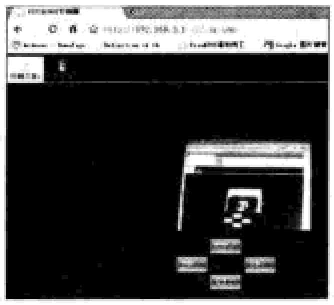
修改network部分

option'ipaddr''192.168.3.1'(本级路由IP，自行修改)
option'gateway''192.168.3.1'（本级路由网关，自行修改）
option'dns''210.21.4.130'（外网DNS，自行修改）
option'_ifname''radio0' （这里要把eth?改成radio0）
option'ipaddr''192.168.1.20'（本级路由WAN口的IP，自行修改）
option'gateway''192.168.1.1'（上级路由网关，自行修改）
option'dns''210.21.4.130'（外网DNS，自行修改）

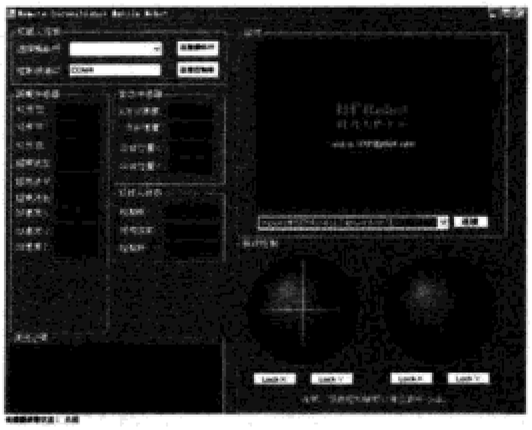
修改wireless部分

option 'macaddr' '00:1e:40:31:28:82' （本级路由由WLAN口的MAC地址，每个路由都是不同的，不要直接套用我的，自行修改）
option 'channel' '8'（要保持和上级路由一样的信号道，自行修改）
option 'encryption' 'none'（要和上级路由填写一样的Wi-Fi密码）
option 'ssid' 'www'（上级路由的SSID，自行修改）
option 'network' 'wan' （这里是wan口）

11 重启路由器，此时电脑无线网卡搜索到一个叫作OpenWrt的无线节点，连接上，使用浏览器输入“http://192.168.3.1:81/car.php”即可进入小车Web控制界面，输入http://192.168.3.1:8080/?action=stream即可进入视频界面。不知何故，要使用Chrome浏览器才能登录。登录后，添加一个视频，然后把地址改成上面的地址。通过USB转TTL串口设备连接电脑，在电脑端打开一个串口调试软件，波特率设置为19200，然后点击界面按键，看看是否有数据发出。注意串口调试软件需要以HEX方式显示。



12 在《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）可下载到ROMEO板的源程序，将这个程序用Arduino 0022下载进去。程序使用了一种帧结构，每个数据命令都以“55 AA”开头，最后一个字节有一个简单的校验和，这样是为了防止路由器发出错误数据干扰小车。因为据我观察，路由器在启动的时候会发出一大堆字符，如果协议太简单，小车可能会读取到错误数据而乱动。程序做了小车速度控制及其两个云台舵机控制。云台X轴舵机接数字10口，Y轴舵机接11口，其他功能可以在上面增加。下载好程序后，可以通过 JoystickInterface 这个软件，用USB线连接，测试一下小车是否能够可靠运行。



13 如果USB线能控制，将路由器的串口线接在ROMEO的串口，对应关系为路由器G接ROMEO板GND，T接RX，R接TX。注意接线最好都断电操作。修改按键值，下面是一些控制代码，将键抬起设置为停止，就可以在不按键时让小车自动停止。

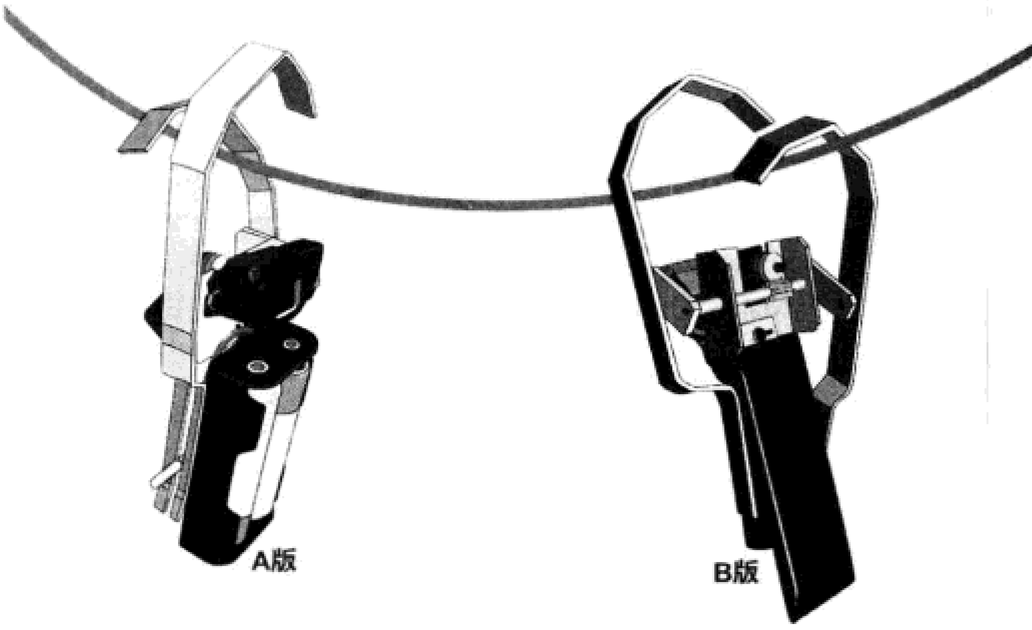
停止 55AA0202808003
100% 速度前进 55AA0202000003
100% 速度后退 55AA0202FFFF01
100% 速度左转 55AA0202FF0002
100% 速度右转 55AA020200FF02

至此，Wi-Fi监控小车的基本功能就算实现完毕了，后面还有很多功能可以尝试，比如通过以太网远程遥控，加一些传感器、车灯什么的，发挥的空间很大。

PVC-Robot 12号：索道游者

吊绳攀爬机器人

◎Plenilune ◎插画：刘少冉



本文介绍的被称为“索道游者”的吊绳攀爬机器人是一款仿生运动机器人，主要模仿灵长类动物依靠双手攀住树枝或者绳索，然后通过双臂交替向前抓握来实现移动的运动方式。这款机器人的造型本来应该是个攀绳的小人，但为了简单起见，省略了如脑袋、双脚等没有实际用途的部分，因此看起来倒更像是一只长有两个大爪子的虫子。

本项目有两个版本，一个是以常规电池为电源的版本，攀爬的速度稍微快一些；另外一个是采用那个经典的太阳能脉动充放电控制电路的版本，攀爬的速度则比较慢。

■ 演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjc0ODk0MTE2.html

基本原理

这款吊绳攀爬机器人依靠减速电机驱动，通过一个特别的连杆机构来实现在绳索上的攀爬运动。

1. 运动方式

机器人主要依靠双臂交替往前抓握住绳索实现在绳索上攀爬。看过《动物世界》就知道，猴子等灵长类动物在丛林间攀爬或者在树枝上吊跃，就是这种运动方式。动作可以分解成图 1 所示的步骤（以面向机器人前进的方向来区分左右），即：

（1）由抓握住绳索的一只手臂把身体往前送。

（2）接着由另一手臂再往前抓握新的一段绳索。

（3）然后原来的手臂放弃抓握绳索，身体往前摆。

（4）再由抓住绳索的手臂把身体往前送。

如此循环往复，就可实现在绳索上攀爬前进。

2. 驱动机理

为了实现在绳索上的攀爬，需要把电机的旋转运动变为不断前后摆动的抓伸运动，这就要借助连杆机构来实现。

所谓“连杆机构”，就是将长度不等的几个杆通过铰链连接起来，并能灵活转动，可以将旋转运动转换为各种其他形式的运动。这里所说的铰链指什么呢？你可以看看家里的房门，门板与门框之间是用合页连接的，门可以围着门轴随意转动，却无法脱离门轴。合页就是一种铰链结构，即连接在一起，但又能灵活转动的结构。

连杆机构有很多种，本项目中用到的是摆动曲柄滑块机构，即一种能够将旋

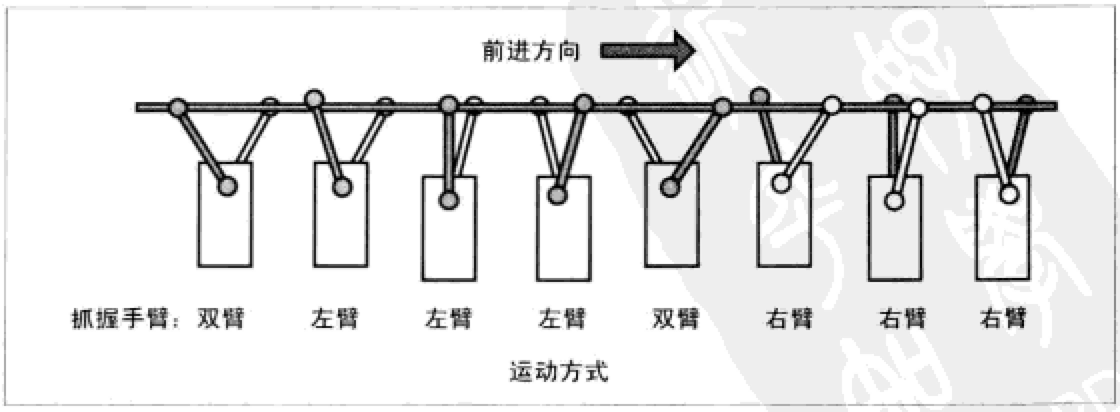


图1 双臂攀爬运动方式动作分解

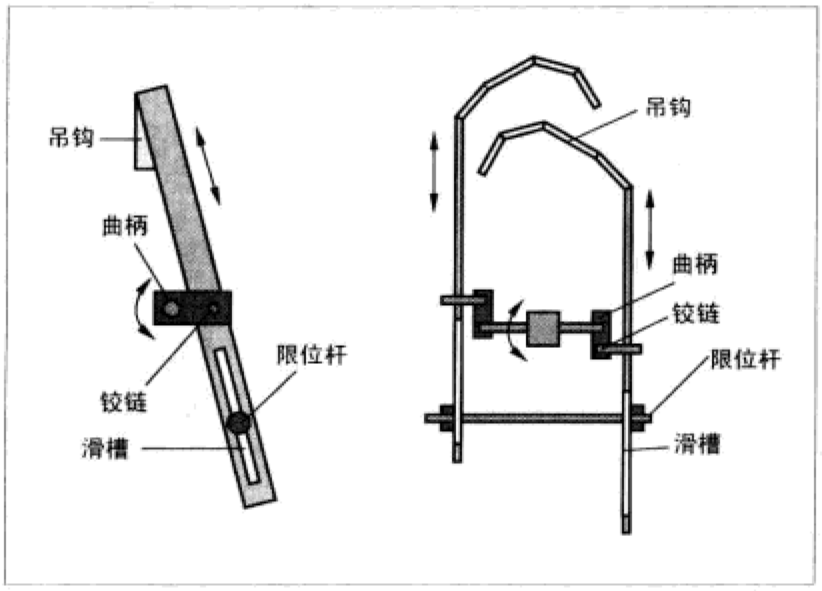


图2 连杆机构

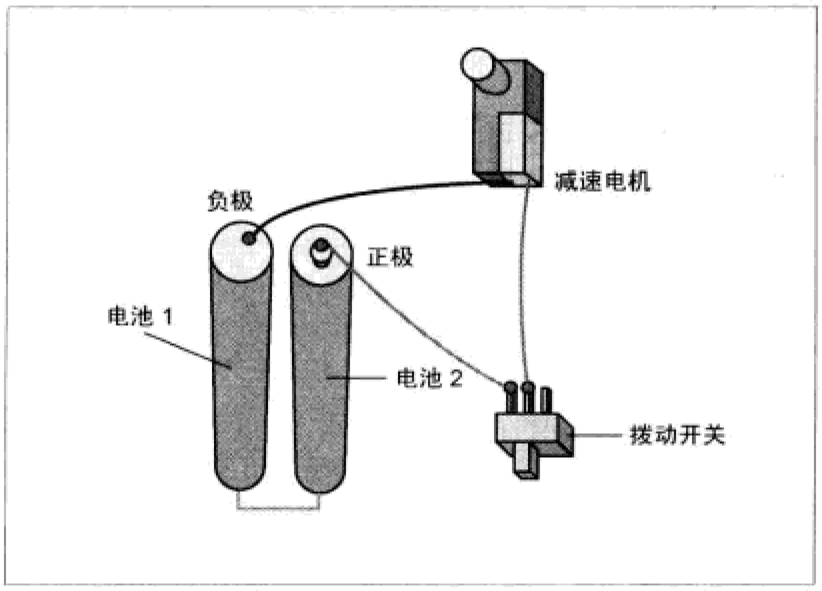


图4 PVC-Robot 12号A版电路焊接示意图

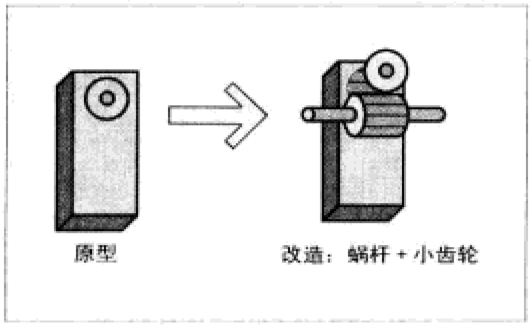


图3 用蜗杆结构改造减速电机

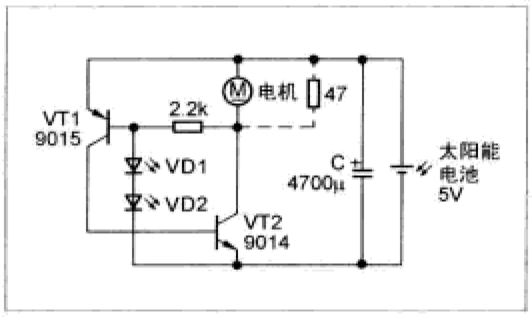


图5 PVC-Robot 12号B版电路图

转运动转换为往复摆动运动的连杆机构。其主要结构是：摆杆一头固定在一个旋转轮盘或曲柄的一侧，摆杆做成带有导向槽的结构并可以滑动。其运动过程示意图我们在上期介绍PVC-Robot 15号时已经刊登过，这里不再重复，只给出这款机器人的连杆机构设计，如图2所示。

由图可见，为了使机器人能够吊挂在绳索上，机器人与绳索接合的部分设计成了吊钩的形状。而为了使机器人能够双臂交替向前抓握绳索，摆动曲柄滑块机构的安装也比较巧妙——左右用了两套相同的连杆机构，且以同轴的方式安装，但两个连杆的铰链结合部分的位置（也就是曲柄的位置）正好相反，即分别位于转盘一条直径线上的两端，使得左右两套连杆机构在同一时刻的运动状态刚好相反。

作为在绳索上攀爬的机器人，不需要攀爬的速度过快，却需要有足够的力气。减速齿轮箱能够把电机的“高转速、低扭矩”输出状态转换为“低转速、高扭矩”输出状态，所以我们采用了带微型减速齿轮箱的电机。但是对于本项目而言，该型号电机还有一些不足。

（1）该电机所带的齿轮减速箱，使得转速已经降得比较低，但是输出的扭矩还不够高，尤其是要吊起机器人自身的重量并要向前攀爬时，动力还是有点不足。

（2）该电机是单侧输出的，无法满足左右两侧同轴驱动连杆的要求。

为此，我们决定为该微型减速电机再增加一级减速齿轮，通过进一步降低转速来提高扭矩（动力）。新增加的一级齿轮我们采用蜗杆结构与齿轮配合，组成新的减速机构，同时把单侧输出变为双侧输出。这个改造方案在上期介绍PVC-Robot 15号时已经进行了详细的阐述，这里不再重复。

3. 电路原理

本项目有A、B两个版本。A版采用常规电池供电，电路非常简单，就是一组电池直接连接一个电机，中间通过一个拨动开关来控制电路的通断，如图4所示。B版则是采用太阳能供电，使用的是与上期介绍的PVC-Robot 15号一模一样的太阳能脉动充放电控制电路，如图5所示，其中以虚线连接的47Ω电阻，请在电池充电速度大于电机放电速度而导致无法正常运行时再连接。

准备工作

本项目需要的器材主要包括：PVC线槽、带减速齿轮箱的电机、太阳能电池、电池盒、电阻、电解电容、发光二极管、三极管、螺丝、螺帽等，如图6所示。主要的器材都可以从网上购买，表1列出了采购成本。由于有些器材是批量采购的，而制作一个机器人用不了那么多（剩下的可以留待以后使用），所以另外加了一项成本折算。

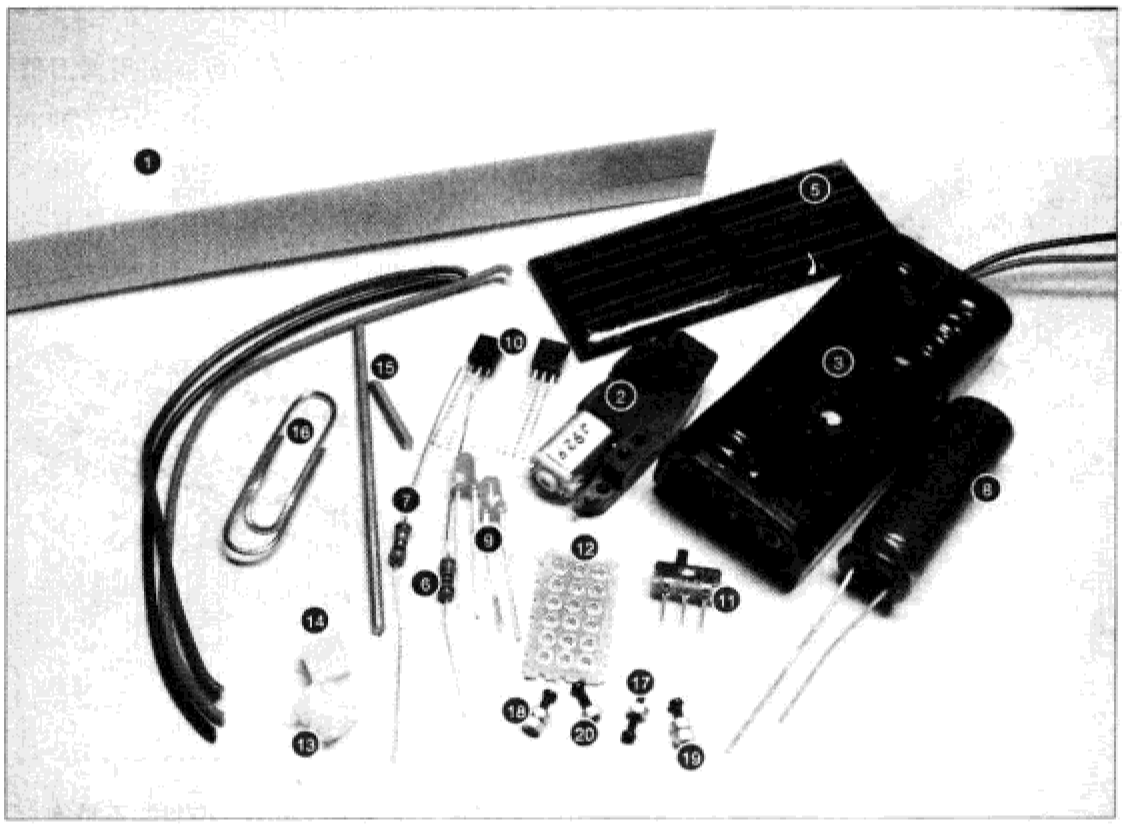


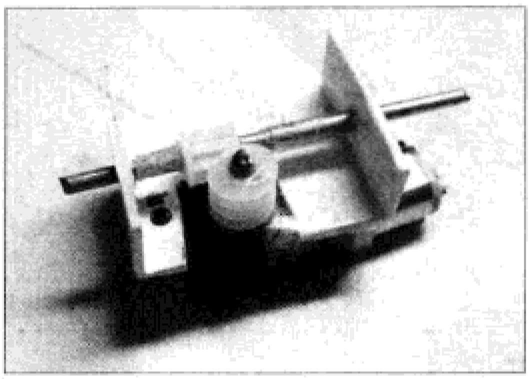
图6 制作所需的材料

表1 制作所需的材料与成本

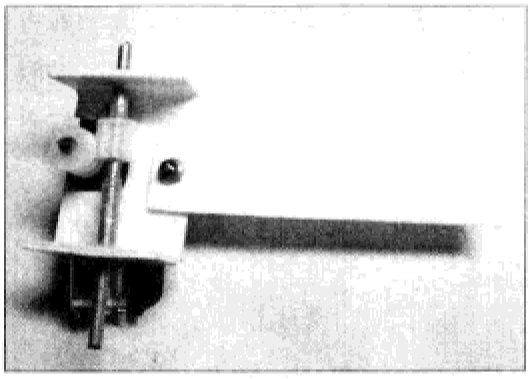
名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
❶ PVC线槽	2.5cm宽	1段	4元 / 0.5元	主要结构材料
❷ 小电机	带齿轮减速箱的微型电机	1个	3.5元	动力
❸ 电池盒	7号（AAA）电池盒	1个	1元	A版电池盒
❹ 电池	7号（AAA）电池	2个	2元	A版电池
❺ 太阳能电池	5V	1片	2.5元	B版电源
❻ 电阻	2.2kΩ	1个	8元 / 0.03元	B版电子元件
❼ 电阻	47Ω	1个	0.03元	B版电子元件
❽ 电解电容	4700μF	1个	0.4元	B版电子元件
❾ 发光二极管	LED（绿）	2个	0.16元	B版子元件
❿ 三极管	9014、9015各1个	2个	4.5元 / 0.15元	B版电子元件
⓫ 拨动开关	小拨动开关	1个	0.36元	A版电源开关
⓬ 电路板	电路板/实验板/万用板/洞洞板	1块	1.5元	B版电路板
⓭ 蜗杆	模数0.5，孔径1.9mm	1个	4元 / 0.5元	减速机构
⓮ 小齿轮	模数0.5，孔径1.9mm	1个	0.5元	减速机构
⓯ 转轴	直径1.8mm的铁丝/钢丝	2段	0.5元	齿轮轴/驱动轴
⓰ 曲别针	文具曲别针	1个	0.01元	限位杆
⓱ M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	4颗	4元 / 0.16元	固定PVC材料
⓲ M2×6螺丝	直径2mm，长6mm，平头	1颗	2元 / 0.02元	固定A版电池盒
⓳ M1.2螺母	孔径1.2mm	6颗	15元 / 0.9元	固定螺丝
⓴ M2螺母	孔径2mm	1颗	2元 / 0.02元	固定螺丝
合计			51.99元 / 14.71元	

A版制作过程

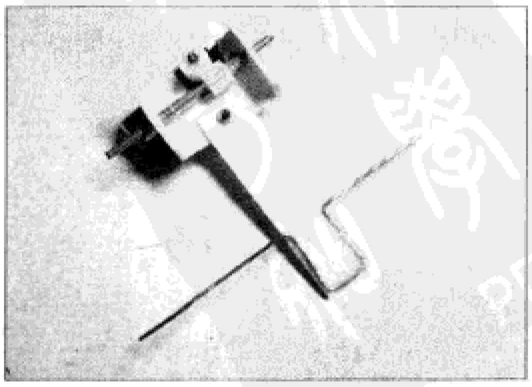
1 对减速电机的改造与减速箱的制作，详见上期PVC-Robot 15号制作的1～17步。



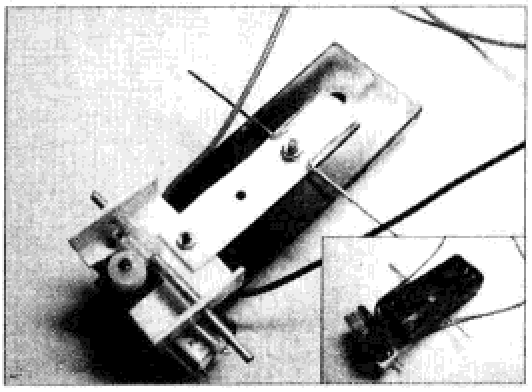
2 用剪刀裁一段长4.5cm、宽1cm左右的PVC方条做成主躯干，并在方条以及减速箱的位置用锥子打两个小孔，把减速箱和主躯干用M1.2×5螺丝和M1.2螺母固定在一起。



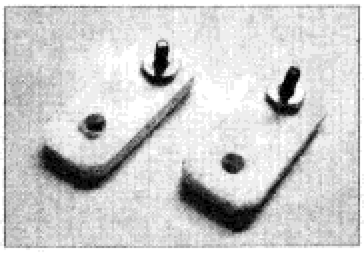
3 把曲别针拉直再用尖嘴钳折成如图所示的形状，做成连杆机构的限位杆，并用透明胶带绑贴在主躯干的末端上。



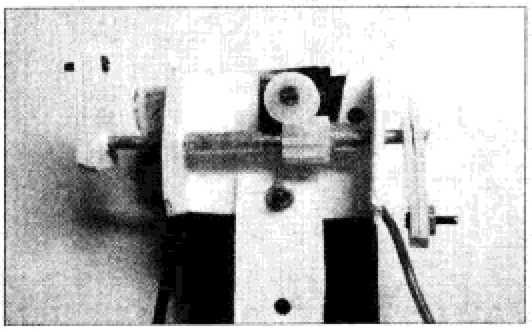
4 在主躯干上用锥子打一个2mm左右的孔，用作电池盒的固定安装孔，把电池盒用M2×6螺丝和M2螺母固定到主躯干上。



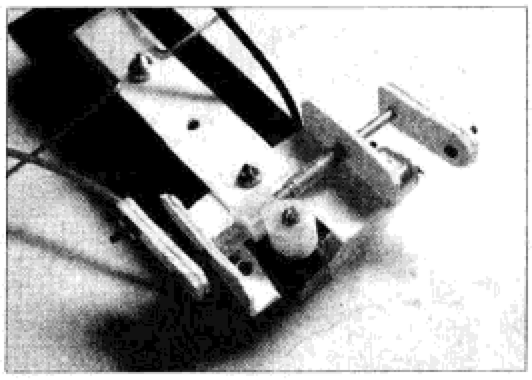
5 用剪刀裁剪4块长1.5cm、宽0.8cm左右的PVC小方块。把两块PVC小方块叠在一起，在其中一侧打一个小孔，并用M1.2×5螺丝和M1.2螺母把两块PVC小方块固定在一起。然后距离这个小孔1cm左右在小方块的另一侧打一个直径1.2mm左右的小孔，让这个小孔顺利贯穿上下两块PVC小方块。把小方块四周的方角剪成折角，这样就完成了连杆机构的曲柄。按照以上的加工顺序，能够确保两层PVC打出来的孔是完全上下贯通的。



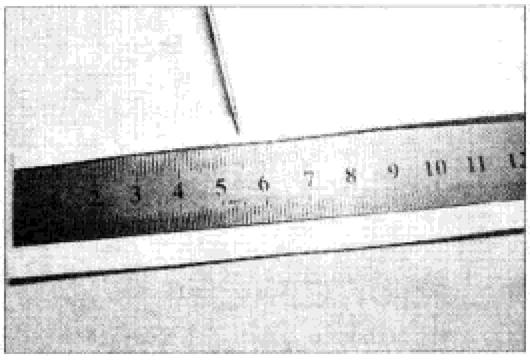
6 把制作好的曲柄套到减速箱输出的转轴上。特别要注意，曲柄上有螺丝突出的一侧向外，并且两个曲柄的安装方向要完全相反，即一个完全向上（左）时，另一个会完全向下（右）。



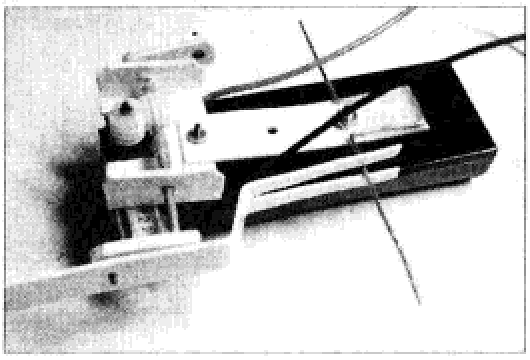
7 然后用502胶水把转轴与曲柄的接合部位固定起来。



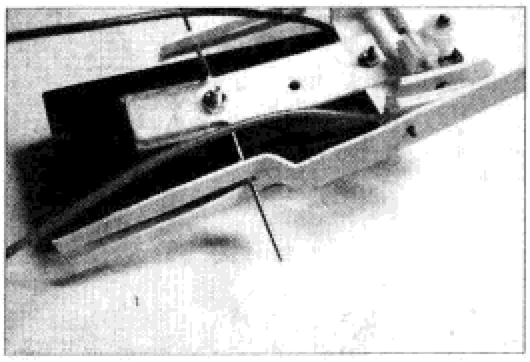
8 裁两根长12.5cm、宽1cm左右的PVC方条，作为机器人的手臂，并且在离一侧大约5.5cm的位置用锥子打一个小孔。



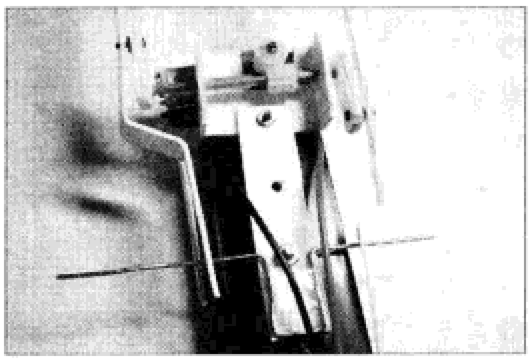
9 把手臂上的小孔穿过曲柄上突出的螺丝，把离小孔5.5cm的一侧（短的一侧）向着主躯干这一边。用尖嘴钳把手臂方条在离小孔2cm的位置（注意保证这个距离，否则转动时手臂可能会与曲柄卡在一起）往里折，贴近电池盒时再往外折，让手臂方条在躯干的部分贴近电池盒。用剪刀把该贴近电池盒的一段剪开一个滑道，让连杆的限位杆能够穿过该滑道并能在滑道中顺利滑动。



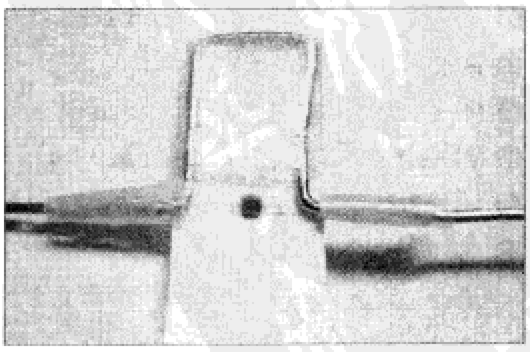
10 关于滑道的加工，可以先用剪刀剪两道缝，然后把两道缝之间的部分切掉，就形成了滑道。在剪缝的过程中，方条容易发生扭曲变形，可以用尖嘴钳把其扭正。用类似方法，把另一个手臂的方条安装好。



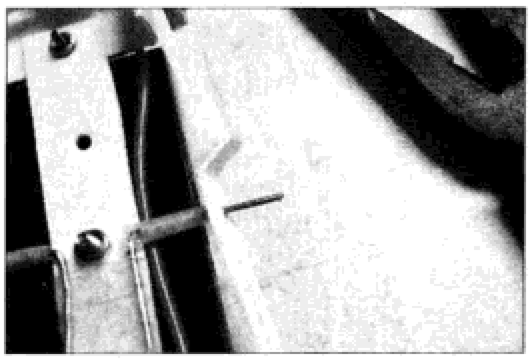
11 由于减速齿轮箱中，电机并不是完全位于主躯干中心线上的，所以左右两个手臂贴近电池盒所做的弯折幅度并不一样。图中左侧的手臂距离电池盒远一些，弯折的幅度大一些；右侧的手臂距离电池盒近一些，弯折的幅度小一些。把曲别针做成的限位杆插到两个手臂方条的滑道中。



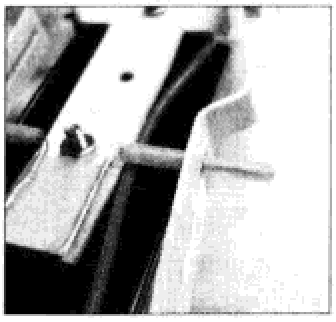
12 把电池盒暂时从主躯干上卸下来，在曲别针做成的限位杆两侧用透明胶带多捆绑几圈。



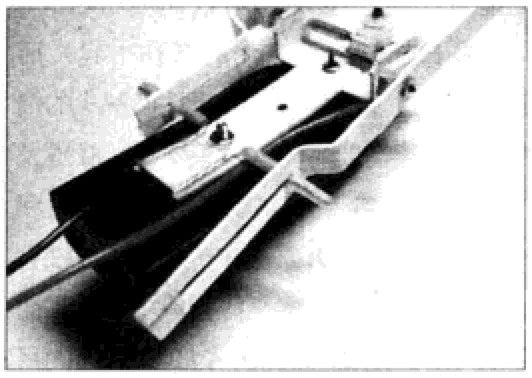
13 重新把电池盒安装到主躯干上，把手臂的滑道套入限位杆上，可以看到手臂滑道正好被刚才绑上的那圈透明胶带顶住，不至于与电池盒碰在一起。把限位杆突出的部分保留大约1cm左右，多余的用尖嘴钳截掉。



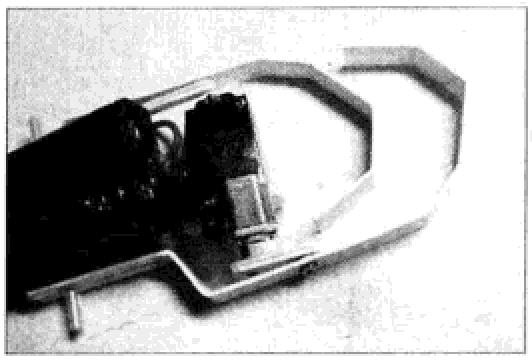
14 在套入了手臂滑道的限位杆外侧，再用透明胶带绑几圈，这样滑道两侧都被夹住，不至于让滑道在摆动时脱出限位杆或者发生偏离轨迹的摆动。注意滑道两侧的透明胶带圈也不要夹得太紧，以免影响滑道的摆动。



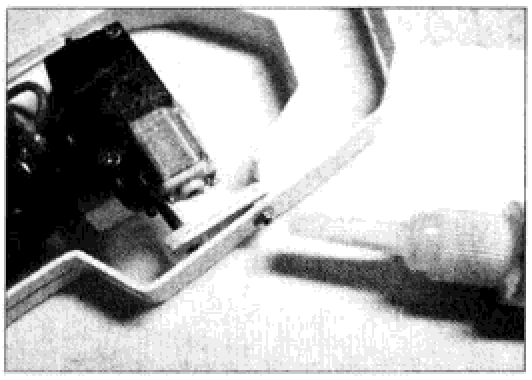
15 手臂滑道下端的开口部分，再用透明胶带绑一圈，相当于把开口封上，不让限位杆从下端脱出。把曲柄上的螺丝都拧上螺母，螺母正好拧到底，但是不要拧紧，让手臂还是能够自由转动。



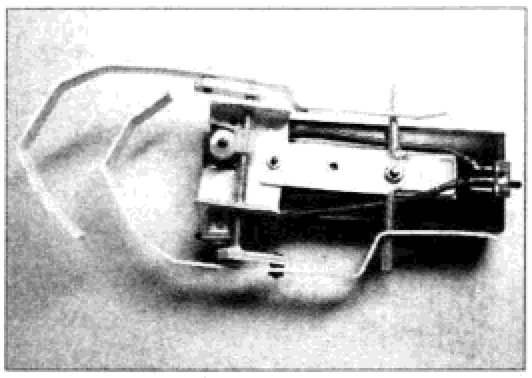
16 下面处理手臂的吊钩部分。手臂上端（与躯干相反的一侧），在离曲柄螺丝大约2.5cm的部位，用尖嘴钳把手臂往内侧进行一次小角度的弯折。在离上一个弯折1cm左右的距离上，再往内侧进行一次弯折。 接着在距离上一次弯折处1.5cm左右的位置再向内侧以及下端进行一次弯折，这次弯折所形成的钩就是吊绳时绳索主要位于的弯钩部位。最后在离上次弯折大约1cm左右的位置，把手臂向下进行一次弯折，这个弯折主要是防止吊绳过程中绳索滑落出手臂。 吊钩前端可能过长会碰到曲柄，可以稍微剪掉一些。



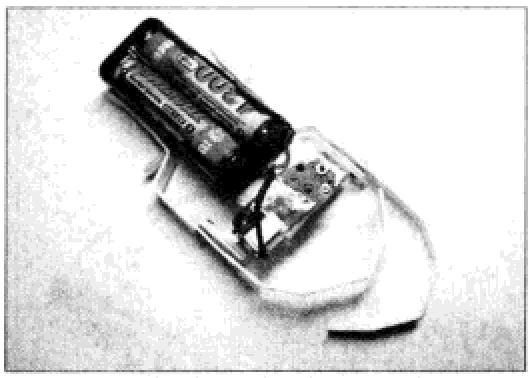
17 把曲柄上的螺母拧到底，但是不要拧紧，让手臂还是能够自由转动，然后把502胶水涂到螺母上，让螺母与螺丝粘在一起，这样螺母就不会松动或者脱落，但注意不要把手臂也粘住。

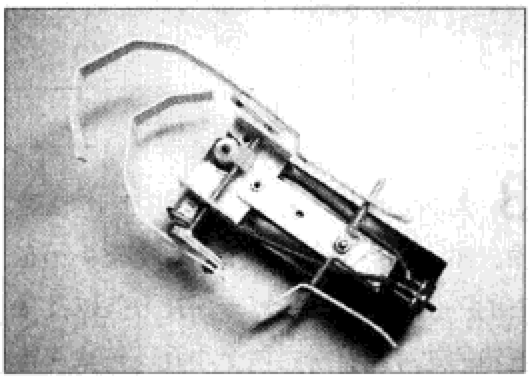


18 A版的控制电路非常简单，按照图4焊接即可。把拨动开关用502胶水粘到电池盒的底端。

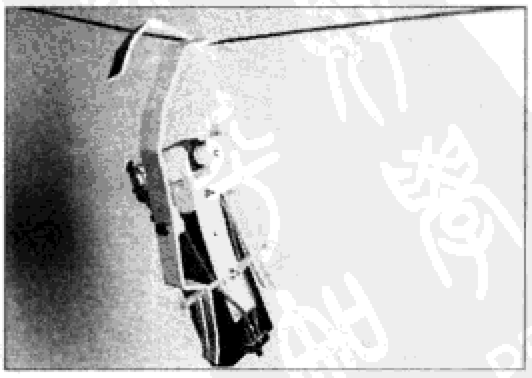


19 装上电池，PVC-Robot 12号A版就完成了。



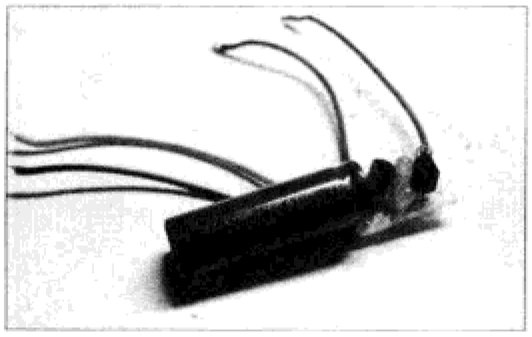


20 吊在绳索上进行测试。

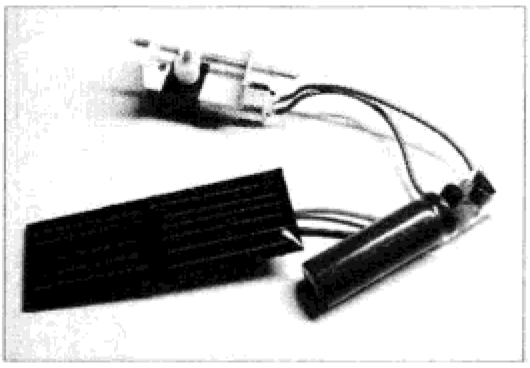


B版制作过程

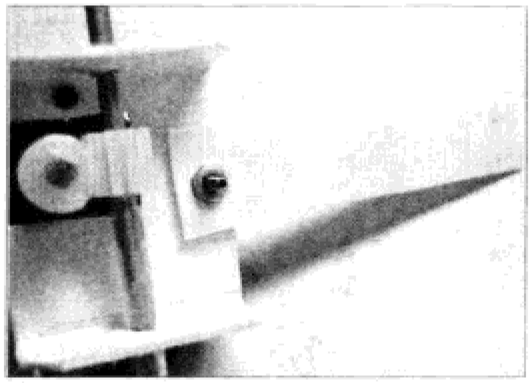
1 关于控制电路焊接的说明不再重复，如有问题请参考今年第4期关于PVC-Robot 3号的介绍。



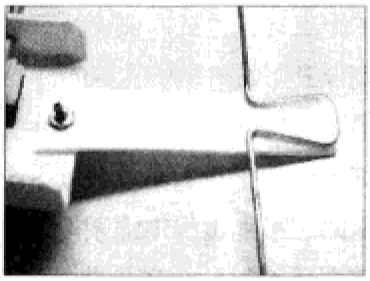
2 把焊接好的电路板与减速电机、太阳能电池板等连接在一起，在太阳光下或者高亮度的白炽灯前，减速电机可以有规律地进行间歇转动。



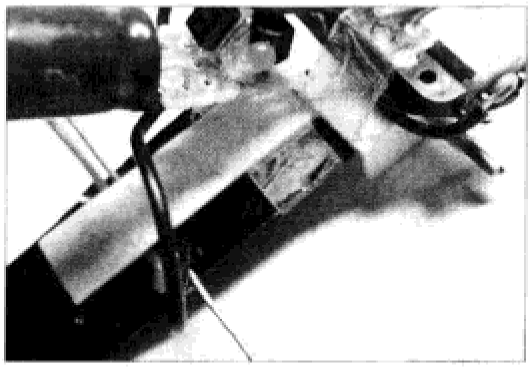
3 与A型一样，改造电机并制作减速箱。然后用剪刀裁一段长4cm、宽1cm左右的PVC方条做成主躯干。在方条以及减速箱的边缘用锥子打两个小孔，把减速箱和主躯干用M1.2×5螺丝和M1.2螺母固定在一起。



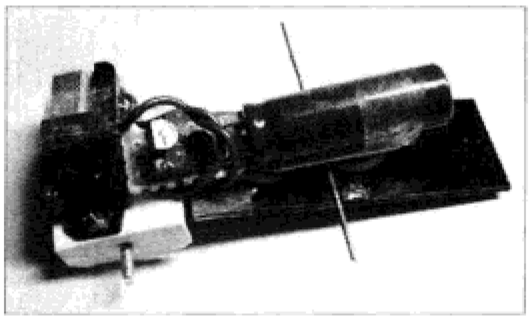
4 把曲别针拉直，然后再用尖嘴钳折成如图所示的形状，做成连杆机构的限位杆，并用透明胶带绑贴在主躯干的末端上。



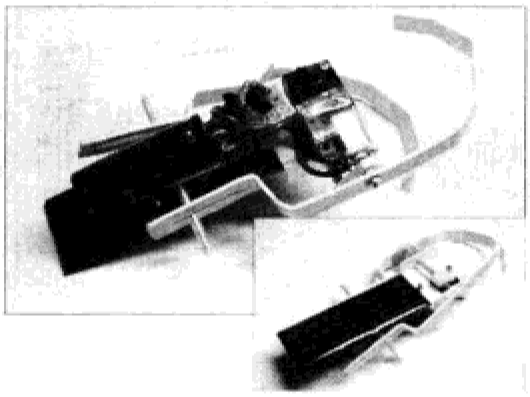
5 把减速电机和太阳能电池板都与控制电路连接起来。把太阳能电池板用透明胶带绑在主躯干上。



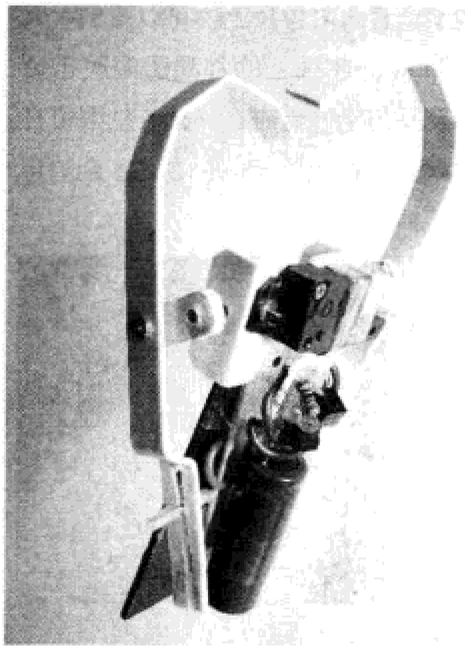
6 再把控制电路上的电解电容也用透明胶带绑在主躯干上。



7 参照A版第5～17步制作曲柄、手臂。



8 吊在绳索上进行测试。



动作调试

两个版本的吊绳机器人，按照前进的方向，都是背部重一些，所以是身体仰面朝上的。假如调试的过程中发现机器人攀爬的方向反了，只需把连接减速电机的两根导线调换过来就行。

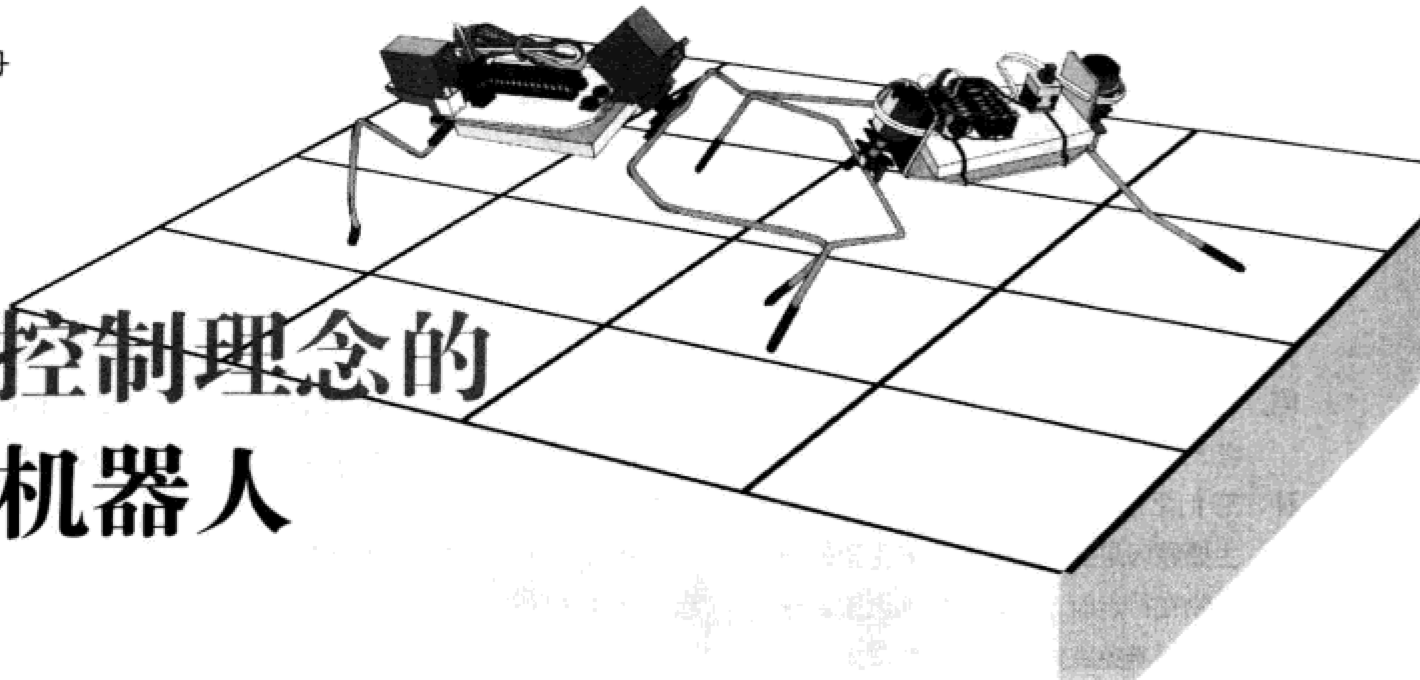
调试攀爬动作时，主要是要调整挂住绳索的吊钩状手臂的弯折角度，由于吊钩状手臂是用PVC做成的，弯折好吊在绳索上后容易有一些变形。尤其是A版用两节7号电池供电，整体重量比较大，手臂承受的重力更多，弯折变形的程度会更大。

要根据实际攀爬时的效果，用尖嘴钳对手臂的弯折程度进行调整。需要注意的是，弯折的部位最好能一次性确定下来，且调整弯折程度也要控制，不要一下子变动过大，避免多次弯折导致PVC折断。

如果出现手臂交错时卡在一起，而且无法通过调整手臂的弯折程度解决的情况，还可能需要用剪刀对手臂进行截短。

这款机器人在对减速电机的改造和机械结构的制作方面存在一定的挑战性，但这些和真正复杂的高级智能机器人相比还有很大一段距离。为了实现更远的目标，这个障碍我们还是要跨过去的。

◎臧海波 ◎插画：刘少冉



数字PK模拟

基于不同控制理念的两只爬虫机器人

题图展示了我近期制作的两只仿生爬虫机器人，左侧的爬虫采用AVR ATMEGA8单片机控制两只舵机运转的模式，右侧的则采用BEAM神经元网络控制两只减速电机运转的模式。我们可以通过对比它们，来获知数字控制和模拟控制各自的特点。

在数字计算机大行其道的今天，几乎所有的机电一体化设备均采用数字（程序）控制的方式，小到玩具模型，大到生产、生活设备，单片机和电脑都被广泛地应用着。与早期的模拟控制方式相比，数字控制方式有很多得天独厚的优点，例如控制精确度高、升级方便、一致性好、性能稳定、维护方便等。但是不可否认，模拟控制也有许多无法取代的优点。

本文力图站在一个客观的角度，回归自然和传统，去挖掘人类早已拥有的聪明才智，对模拟和数字这两种控制理念进行回顾。通过两只简易仿生爬虫机器人的制作，对比它们的运行效果，用以比较这两种控制方式各自的特点。

既然是PK，首要的前提应该是双方胜算均等，这样才会有更多的悬念，我制定了如下的目标：

（1）制作两只四足爬虫机器人，使用数控和模控两种截然不同的控制方式，实现它们的爬行前进。

（2）简化问题，不去考虑爬虫机器人的倒退、拐弯、避障等扩展功能。

（3）每只爬虫的制作成本控制在60元以下。实际上每只爬虫控制核心的电子部分，造价均低于15元。

（4）爬虫骨架的机械部分，使用完全相同的材料制作，成品形制尽量相同。

（5）使用相同规格的3.7V、1200mAh的锂电池作为电源。

（6）成品重量均控制在60g以下。

（7）在实现上述目标的前提下，把两只机器人的外形做得更富有艺术气息。

从构思这个题目，到收集材料，再到着手实现这两只爬虫机器人，我对它们最终的PK结果也充满了好奇。作为一名DIY爱好者，可以完全按照自己的喜好来设计规则，这也是手工制作引人入胜的地方吧！

结构与控制方法

这两只机器人的骨架构造均采用Andrew Miller的BEAM爬虫的设计，它是一只使用一前一后两只电机驱动的四足爬虫，见图1。注意在图1中没有展示机器人的腿部结构，腿部的细节详见下文制作过程及爬虫机器人实物照片。

爬虫机器人是步行机器人的一种，有着传统轮式机器人无法比拟的优点，比如攀登斜坡、跨越障碍、自由移动等。但是步行机器人的制作难度也一下子提高了许多，这使得许多机器人爱好者感觉无从下手。

从图1的结构图中可以看出，Miller的这个经典设计有效地降低了步行机器人的制作门槛，它的机械部分元件较少，对工艺的要求也不算太高，比较容易制作成功。即便如此，步行机器人的制作仍然是一项实践性非常强的工作，很难做到一次满意，需要在实践中反复积累经验。笔者

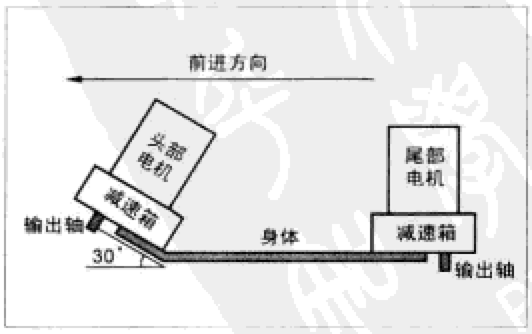


图1 爬虫机器人侧视图

表1 双电机四足爬虫机器人的控制思路1

尾部电机	正转	停	反转	停	正转	停	反转
头部电机	停	正转	停	反转	停	正转	停

表2 双电机四足爬虫机器人的控制思路2

尾部电机	正转	正转	反转	反转	正转	正转	反转
头部电机	停	正转	正转	反转	反转	正转	正转

是在制作了5～6只这样的爬虫以后才摸着点门道的，之前做的那些不是重心不稳，走几步就摔倒，就是腿部形状有缺陷，机器人走不成直线。

步行机器人属于仿生机器人的一种，它们之所以难以实现理想的运行效果，主要原因是受到动平衡和静平衡的制约。动物在行走时，总是不停地调整自身的平衡点以避免跌倒，这称之为动平衡；对机器人来说，它的控制器必须不断地将机器人的平衡状态反馈回来，然后机器人不停地改变加速度或者重心点来满足平衡的要求。静平衡则需要机器人的物理形态与步态之间相互协调，保证机器人在行走时不会发生偏离平衡点的现象。在机器人静止时，为了保证静平衡，还需要考虑机器人脚部的设计。

观察一下身边小猫、小狗这些四足小动物的运动方式，注意看它们的四肢是如何连贯起来运动的，对理解Miller爬虫会有很大帮助。

爬虫的头部电机与地面呈30°夹角，通过这只电机带动两只前腿向前抬起、伸展、着地。尾部电机的输出轴与地面垂直，使两只后腿推动机器人前进。这种步行运动方式的关键在于如何调整四条腿之间的运动，这就需要在机器人的电控部分好好动动脑筋了。

表1和表2分别提供了两种双电机四足爬虫机器人的控制思路。

表1的控制思路相对简单。当机器人冷启动以后，随时序的进行，在同一时刻只有一只电机在运转，驱动爬虫向前行进。比如，左前腿处于抬起的状态（头部电机正转），随之而来的事件是右后腿抬起（尾部电机反转）。这是一个比较谨慎的控制方法，它的优点是两只电机之间的逻辑关系非常清晰，相互之间影响少，无论从模拟控制的角度，还是数字控制的角度都比较容易实现。它的另一个优点是机器人的功能扩充非常灵活，只需要通过传感器来改变其中一只电机的时序，就可以使爬虫做后退和转弯等复杂的动作。

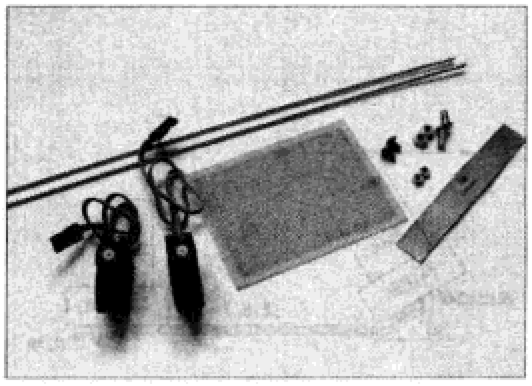
以下要制作的两只风格各异的爬虫机器人，均采用表1的控制思路。

数字爬虫机器人的制作过程

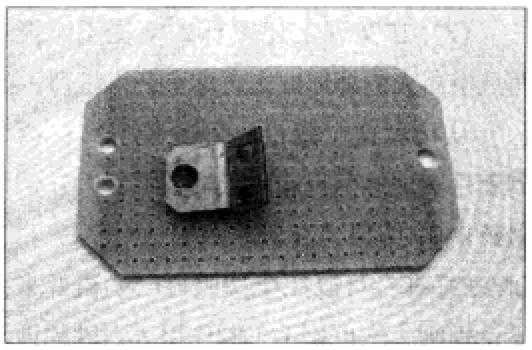
表3 制作数字爬虫机器人骨架所需的材料

名称	数量
9g舵机	2个
洞洞板	1片
车条	2根
螺母、螺丝	适量
热缩管	适量
铁皮	1片

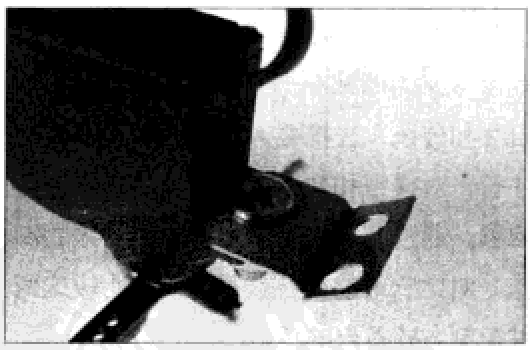
1 准备好制作数字爬虫机器人骨架所需的全部材料。



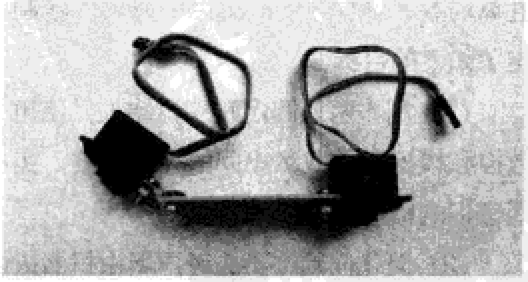
2 把洞洞板裁剪成适当尺寸，作为爬虫的身体。爬虫头部的舵机需要抬起30°，我使用废光驱外壳的铁皮做了一个简单的结构件。



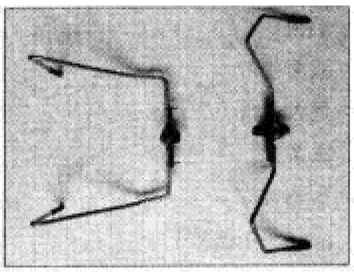
3 加工好的结构件以如图所示方式固定在爬虫的头部舵机上，这个结构件也起到连接和固定头部舵机与爬虫身体的作用。



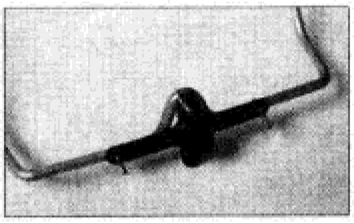
4 爬虫身体装上舵机后的侧视图，左侧为机器人头部。尾部舵机的输出轴与地面垂直，可以在身体后部打一个安装孔，用螺丝把舵机直接固定在上面。



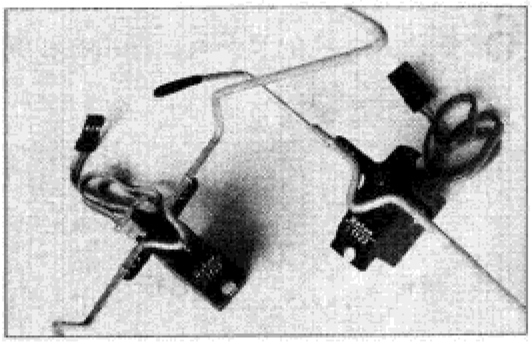
5 用车条弯制机器人腿部，足部套上热缩管，以增加摩擦力，防止爬虫在光滑的地面上行走时打滑甚至摔倒。图中左侧的为左、右前腿组合，由头部舵机驱动，右侧的为左、右后腿组合，由尾部舵机驱动。



6 车条与舵臂以如图所示的方式连接，使用金属丝把车条捆绑在舵臂的小孔上，拆卸和替换非常方便。



7 把做好的腿部与舵机连接上看看，腿部与舵机应该配合灵活，输出轴在运转范围内没有阻碍。



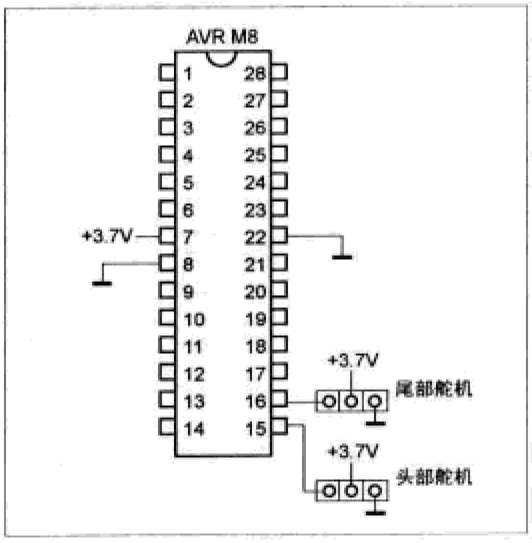


图2 数字爬虫机器人的电路图

这只数字爬虫的重量很轻，对舵机没有特别要求，可以选用任意品牌的9g微型舵机，比如威盛（TOWERPRO)的SG90。市场上可以买到两种SG90舵机，一种零售价在13元左右，透明蓝色外壳，引线颜色是黑、白、红，输出扭矩较小；另一种零售价在22元左右，引线颜色是棕、红、桔，输出扭矩较大，它们都适用于这只爬虫。我使用的是一对质量稍好一些的北田（BATAN）S1123微型舵机。

舵机的优点是安装和替换非常方便，这方面生产厂家已经做足了功课，每款舵机均设计有通用的安装孔，配套的舵臂、舵盘也几乎都是标准件，减速箱也一并集成在舵机里面了。借助安装孔可以很方便地把头尾两只舵机安装在爬虫的身体上。使用洞洞板作为爬虫的身体，电子部分也是直接在洞洞板上进行焊接。舵机的另一大优点是内置了电机驱动电路，用单片机的IO口可以直接控制舵机，不再需要额外的驱动电路，这就在很大程度上简化了机器人的整体结构。

爬虫的腿部使用车条弯制而成，前后腿的形状没有严格的要求。根据大多数DIY爱好者的制作经验，四足着地的位置与爬虫身体中轴对称是第一要素，腿部形状是第二要素，此外还要兼顾美观。

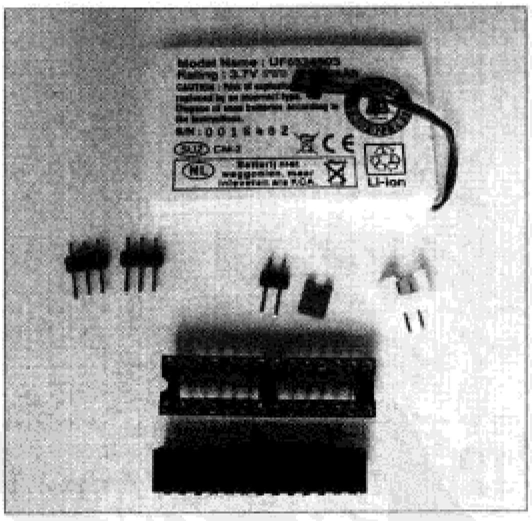
数字电路的特点是结构简单而原理复杂，模拟电路的特点是结构复杂而原理简单，这只数字爬虫的电子部分充分体现出了这个特点。从线路图和准备的元件可以看出，数字爬虫的电子部分除了一片AVR M8单片机和一块锂电池，剩下的就是一些接插件了，不需要任何额外的阻容元件及有源元件。因为元件极少，电路板的焊接也超简单，其实就是给单片机供电，再引出两组IO口用来连接爬虫头、尾的两只舵机就可以。但是要让M8正常运转，按照表1的思路来控制这两只舵机做相应的动作，还需要编程、下载等一系列后续工作。

电子部分直接焊接在爬虫身体的洞洞板上。M8单片机需要使用一个28孔插座，因为在调试爬虫的过程中，可能需要反复拆下M8给它编程序。当然也可以给这只爬虫做做加法，把ISP插座焊在这块洞洞板上，还可以加上复位电路，再把单片机的IO口和AD口引出几组插针出来用于安装传感器。我这里只是搭建了一个M8的最简系统，以元件最小化为标准。

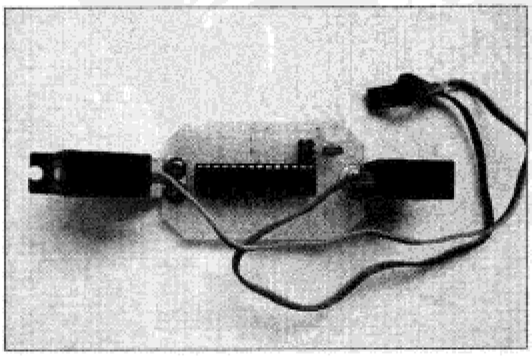
表4 数字爬虫机器人控制电路元件清单

名称	数量
ATMEGA8单片机	1片
28脚插座	1个
2针电源插座	1个
杜邦插针	8位
短路帽	1个
3.7V锂电池	1个
充电器	1个
细导线	适量

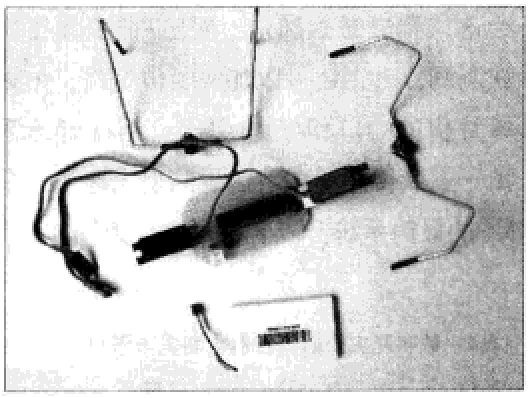
8 准备好数字爬虫电子部分的元件。



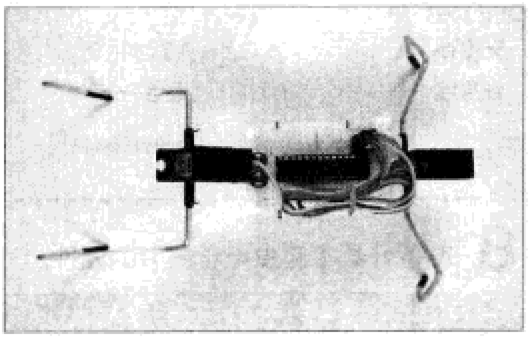
9 在爬虫身体上焊接好电子部分。

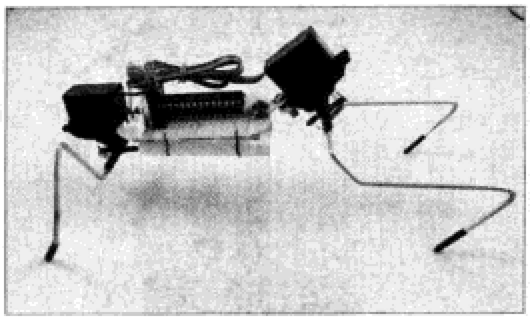


10 数字爬虫机器人总装照片，包括爬虫的电子部分、前后腿和锂电池。

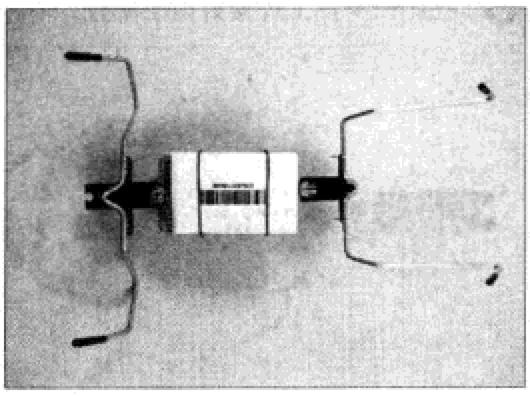


11 装配好的数字爬虫机器人有点终结者的感觉吗？从图中可以观察到，后腿间距调整得比前腿间距稍大，以求平稳。





12 爬虫底视图。借助虫体洞洞板边沿的闲置孔洞，用网线把锂电池捆绑在爬虫腹部，以便拆换。



模拟爬虫机器人的制作过程

1 准备好制作模拟爬虫机器人骨架所需的全部材料。

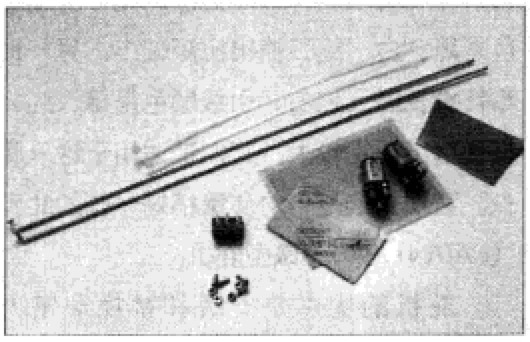
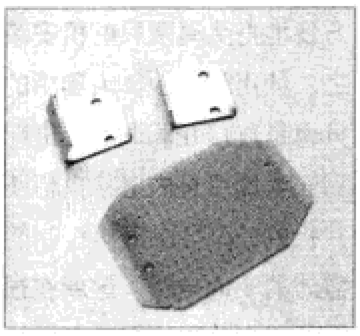


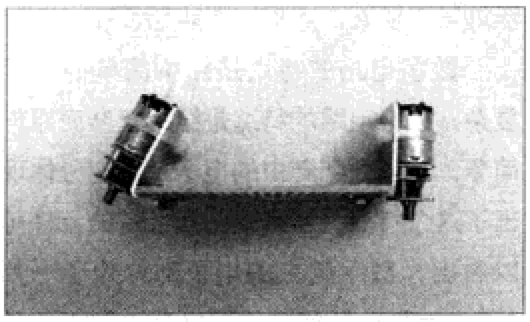
表5 制作模拟爬虫机器人骨架所需的材料

名称	数量
减速电机	2个
洞洞板	1片
铝板	1片
双面胶带	适量
尼龙扎带	2根
车条	2根
热缩管	适量
压线端子铜芯	2套
螺母、螺丝	适量

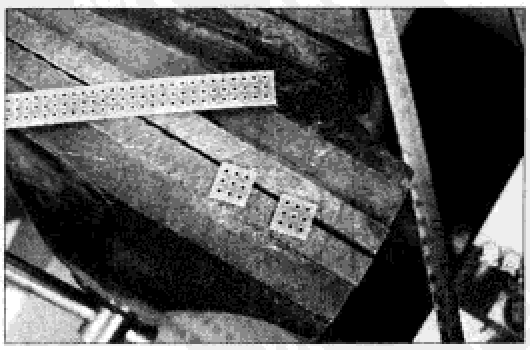
2 为了固定减速电机，需要用铝板加工两个支架，一个90°的，安装尾部电机，一个60°的，安装头部电机。



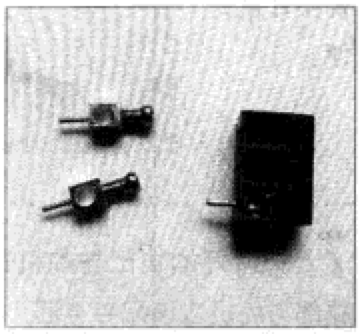
3 同样使用洞洞板做为爬虫的身体，左侧为机器人头部。借助尼龙扎带和螺丝固定好两只电机。



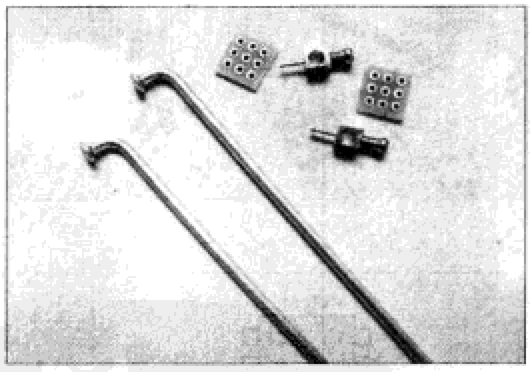
4 模拟爬虫机器人的驱动部分使用两只N20型减速电机，5V电压下转速为30r/min，接近9g舵机的转速。与数字爬虫相比，减速电机的固定和输出轴与腿部的连接，就没有舵机那么方便了，需要自己加工一些小零件。把质量较好的双面洞洞板裁成3×3孔的两小块。



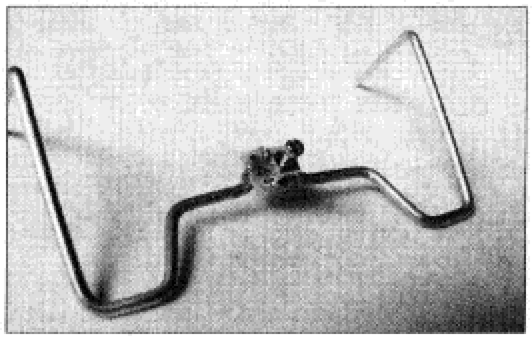
5 从压线端子里拆出两套铜芯，保留螺丝。铜芯的压线孔直径是3mm，刚好匹配N20减速电机的输出轴。



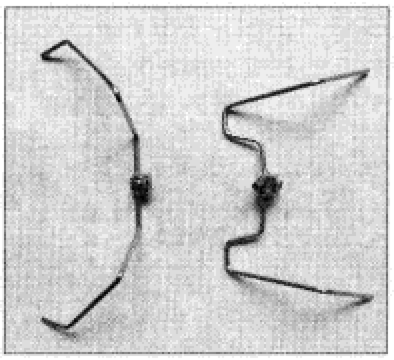
6 借助3×3孔的洞洞板，把车条和铜芯焊接固定在一起。



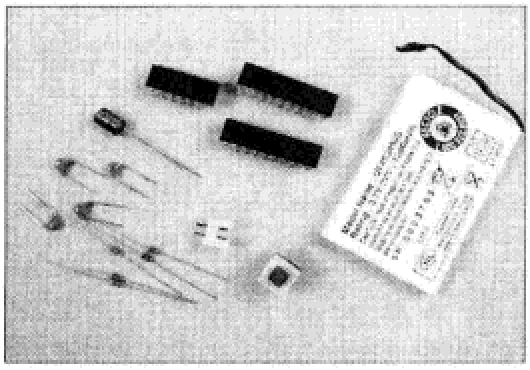
7 爬虫腿部，自制简易轴连器的细节。



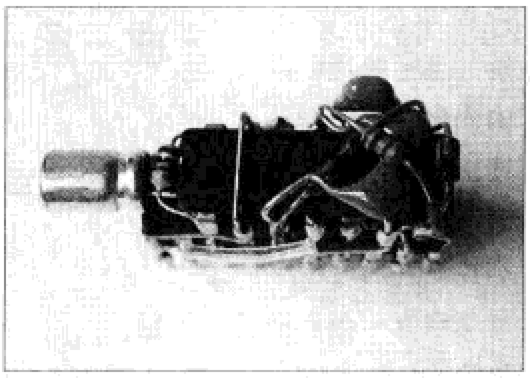
8 制作好的模拟爬虫机器人的前腿组合与后腿组合。



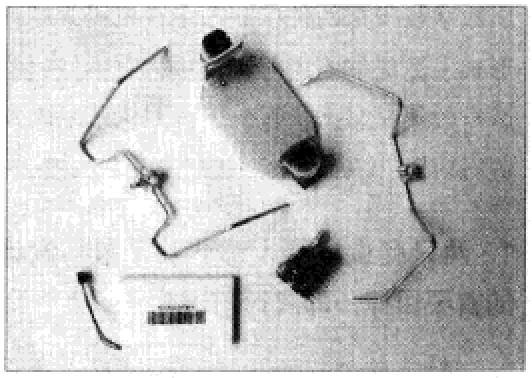
9 准备好模拟爬虫机器人电子部分的全部元件。



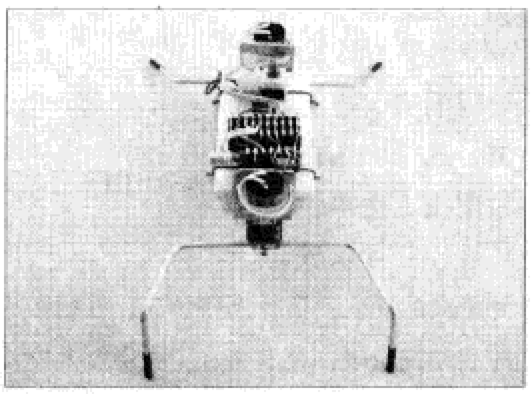
10使用缠绕焊（Free From）手法焊接的爬虫控制核心。



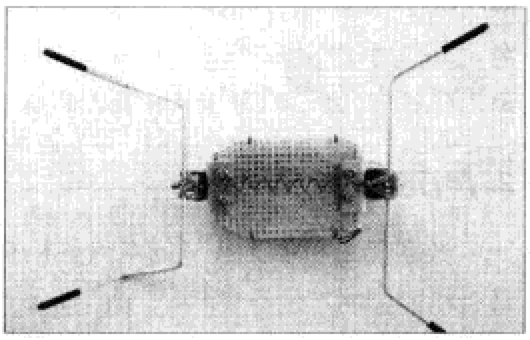
11模拟爬虫机器人总装照片，包括爬虫的电子部分、骨架、前后腿和锂电池。



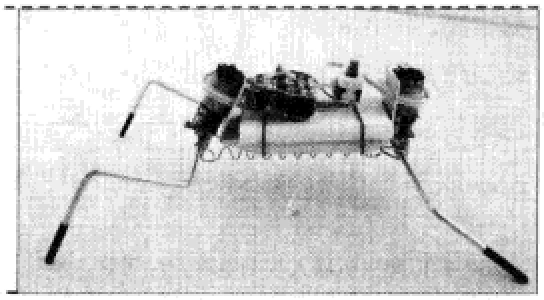
12模拟爬虫的前视图。从图中可以看出，前腿间距略小于后腿间距，这是为了机器人运行稳定而做的调整，使整个骨架的重心位于中后部。



13模拟爬虫的底部。从图中可以看到连接前后腿的一根弹簧，这是一种补偿手段，用来调整神经元网络的运转特性，使机器人爬行平稳。弹簧也类似生物的肌肉，在前后电机之间建立一种机电反馈。



14机器人的侧视图，从图中可以看出前后电机与地面的夹角关系。



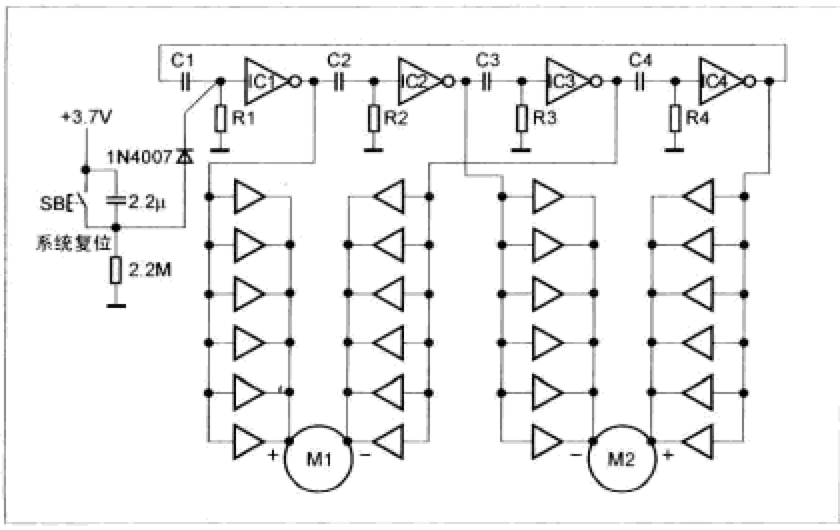
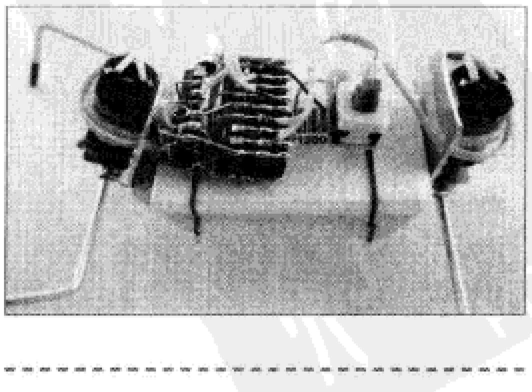


图3 模拟爬虫机器人电路图。电阻R1、R2为2.2MΩ，电容C1～C4为0.22μF，它们的数值决定电机控制时序的周期，可能需要根据机器人骨架的实际运转情况稍作调整。M1为头部电机，M2为尾部电机。

15机器人电子部分的特写，锂电池和电控核心"驮"在机器人的背上。



最终效果

通过上文的制作过程，已经可以看出数字和模拟两种控制理念在机器人结构形式上造成的巨大差异。那么它们最终的运行效果又怎么样呢？下面对它们的性能进行对比。

1. 两只爬虫机器人都达到了最初设计的首要目标，即爬行前进

数字爬虫机器人的造价稍高，这是因为总装完毕以后的数字爬虫机器人是不能马上工作的，还需要给它编写程序，这个环节增加了它的额外成本。而模拟爬虫机器人只需通电就可以运转。

AVR M8双舵机数字爬虫机器人的程序可以在http://www.instructables.com/id/A-Servo-based-4-legged-Walker/注册下载，这是一个入门级程序，包括了爬虫机器人冷启动的步态归零和爬行前进控制。

2. 爬行姿态和路面适应性

数字爬虫机器人头尾的两只舵机在单片机的控制下执行表1中所列的动作，排除舵机虚位的影响，动作精确度和效率都很高。冷启动状态下，程序会强制将前后腿位置归零，机器人不需要学步就可以直线前进。

数字爬虫机器人的缺点是动作僵硬，两只舵机只进行简单的角度控制，且不能对路面的变化做出任何反馈。这些问题可以通过加入逐级的步态控制并通过传感器来建立对路面的反馈来改善。

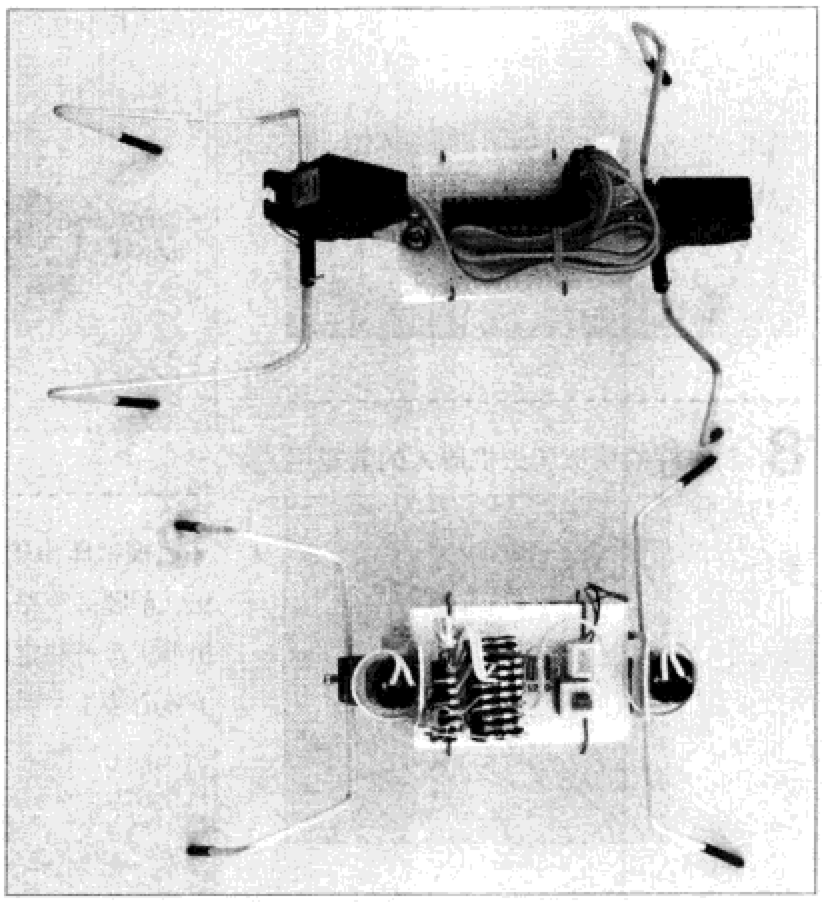


图4 制作完成的两只爬虫机器人的合影

模拟爬虫机器人是通过74HC14构成的神经网络来控制，神经网络是一种非线性模拟控制系统，它解决了采用数字方法很难处理的实时控制问题。这个优点在这只爬虫上也得到了体现，它可以感觉到路面的变化，自行调整步态。在机器人冷启动的阶段，爬虫有一个类似婴儿学步过程，它会根据腿部的状态和路面情况对自身重心进行短暂的调整。为了说明问题，我把模拟爬虫的结构做了一些改动，读者可以通过近乎苛刻的测试视频来体会一下模拟控制的强大。

从视频中可以看出模拟爬虫机器人具有极大的适应性，这得益于神经元网络的一个独特性能，神经元网络在通过缓冲器或者H桥驱动一个电机时，可以感觉到负载的轻微变化。这个特性使得机器人不用借助传感器也可以感觉到环境的变化，从而做出反应。事实上，一个神经元网络的运行效果很像一个具备反射特性的硅基生物，实际情形会非常复杂，我会在以后的文章中对神经元网络进行更详细的介绍。

3. 功能扩展

数字爬虫机器人的升级比较简单，读者可以给它重新编程，试着实现上文表2中的控制思路。同样的硬件，换上不同的程序，机器人的运行效果就会呈现出很大的不同。还可以给单片机加上传感器，设计一下它的后退和拐弯功能。

模拟爬虫机器人的升级相对比较困难，要扩充新的功能，就需要在硬件上做很大改动。我用缠绕焊的手法来表现模拟虫的电子部分，更使得已经焊成一个整体的元件无法重复利用。Ⓦ

表6　模拟爬虫机器人控制电路元件清单

名称	数量
74HC14	1片
74HC245	3片
0.22μF/63V电容	4个
2.2MΩ 电阻	5个
2.2μF/63V电解电容	1个
2针电源插座	1个
3.7V锂电池	1个
充电器	1个
细导线	适量
小开关	1个
1N4007	1个

■ 数字爬虫机器人的行走视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTkzODkyNzI0.html
■ 模拟爬虫机器人的自平衡特性测试视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMTk4NjM0NTAw.html

电子发光线（EL）ELECTROLUMINESCENT WIRE

柔性发光线做小制作非常容易

◎文：路易斯·M.布里尔、史蒂夫·博韦里
◎摄影：萨姆·墨菲、保罗·斯皮拉德
◎绘图：格里·阿林顿
◎译：曾学明

选自《爱上制作11》

电场能够激励荧光材料发光，这个原理叫作场致发光效应。自20世纪70年代中期以来，这种冷光源作为平板的背光应用在一些仪器和小型显示器上面。20世纪90年代，一家叫作Elam的公司发现了一个可以使能弯曲成形的电线发出相同光线的方法。

场致发光线、aka EL线或叫作发光线，很快就成了大家非常喜欢的媒介，可以用它来创造在夜晚点亮的工程。这种线的柔性和长度能让你以很大规模来构图并且能够具有生气。它能够承受各种恶劣环境和粗暴处理。这种线点亮后仍然会是冷的，并且耗能比氖灯、氙灯，甚至LED都更低，你可以用这种线固有的各种颜色来创作梦幻般的景象。

本文将给大家介绍发光线的工作原理以及你怎么才能按自己的意愿弯折它。

发光线的构造

发光线是由一根铜导线或涂覆了一层场致发光磷材料的导体，以及螺旋线圈或具有很好的穿透性的网眼线、缠绕线组成。它的外层材料很薄，足以让光线穿过（见图1）。当在芯线和外层导体之间加上高压高频交流电时，导体之间的荧光层就开始发光。

在这个同轴导线外面覆盖的是一层乙烯护套，乙烯护套可以保护外层导线并能通过滤光来发出不同的颜色。

发光线的直径范围从超细的0.9mm到较粗的5mm，也有非圆形的发光线，比如可以装在平面上的D型发光线和可以缝在衣服上的T型发光线。

其他种类的发光线还有：用UV保护层覆盖的室外型、具有很好的防水性能的水下型、双色型、高亮型、超柔性型，以及可以用在恶劣环境和专业领域的工业高强度型。

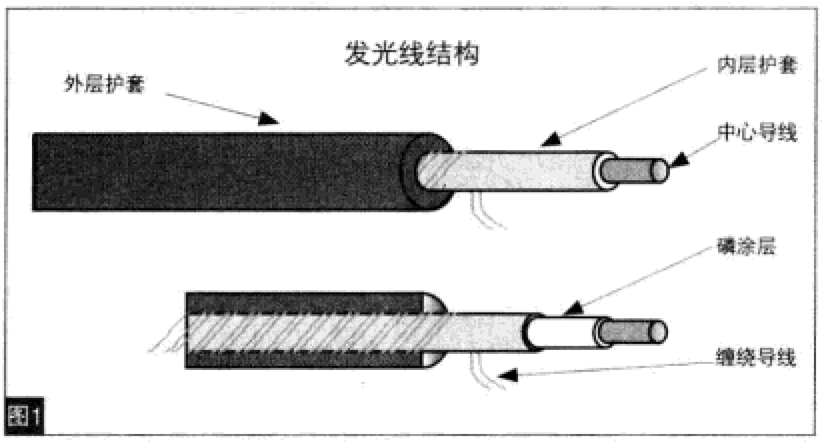


图1

色彩、电压和频率

目前发光线共有10种颜色，包括：绿色、蓝色、浅绿色、白色、黄色、粉红色、红色、黄绿色、橙色和紫色等。通常，所有颜色的发光线内部用的都是浅绿色磷材料，但是现在的白线用的是浅桃色磷和浅绿色涂层，这样能够发出明亮的白色光。

常规发光线运行在100～120V交流电压下，频率为400～2000Hz。增加频率能将浅绿色磷发光材料的发光颜色从绿色变为蓝色，在2000Hz时亮度达到最高（蓝绿色）。提高频率到3000Hz会变为紫色，但光线会变暗。在峰值频率下，增加电压也能发出更亮的光，但是会缩短寿命，发光线会随着使用过程慢慢地变暗。

发光线的外形和其他普通电线差不多，但是不用连接它的两端，也不用在里面通电，发光线的连接是通过在一端连接芯线和外层缠绕线来实现的。

发光线的远端无需连接，从元器件术语来说，一根发光线的连接和工作就像是一个电容一样，电容值和长度成正比。

驱动和顺序

大多数的发光线项目都是用电池供电，可以在夜晚带出去使用。要把电池的直流电压变为高压交流电（小电流）需要一个驱动器。工业界出现了配套的微型工业发光线驱动器，大多数人都喜欢用它。这个驱动器小巧、便宜，并且使用起来也很简单。

现在的驱动器都有一定的驱动范围，每一个都只能驱动一定长度的发光线，从0.3m到100m的单线或是总长为100m的几根发光线。如果使用的发光线长度超过了驱动器的驱动范围，就需要选用更大功率的驱动器。

我们也可以自己制作驱动器来很精细地调整交流驱动信号，这样可以使发光线有更多的颜色。这是一个简单的发光线驱动电路（见图2），它采用了两片555（或一片556）时基芯片做的斩波电路、一片TIP120达林顿三极管和一个小变压器，这个电路可以驱动3m长的发光线。在驱动器电路的左边有一个电位器，用来调节交流电的频率，改变频率就能相应改变发光线的亮度和颜色。

电路的右边是一个简单的斩波电路，用来开关发光线。这个电路和其他555做的闪光电路一样，在第7脚接一个电位器，并在第2脚接一个电容，用来调节明暗比例。电路图如图3所示。

通过按一定的顺序点亮不同的发光线，可以产生出动画或其他视觉效果。市面上可以买到像配电板一样的微型发光线顺序控制器，只需要简单地把多根发光线按一定的模式接到驱动器输出端即可，和连接圣诞树彩灯控制器的方法差不多。

一些更好的顺序控制器，比如在接下来要介绍的“安妮眨眼”项目中用的CAT－09，内部有一个驱动器，这个驱动器允许用户编程并能在不同的显示模式之间进行切换。

如果想进行更高级的控制，可以用单片机编程控制双向晶闸管来对发光线进行开和关。双向晶闸管是用于交流电的一个像三极管或继电器的半导体器件，连接在单片机和发光线之间，可以对驱动发光线的交流信号进行开、关控制。将双向晶闸管的门极引脚接到单片机上，另外两个引脚连到发光线和电源或地上就能实现了。

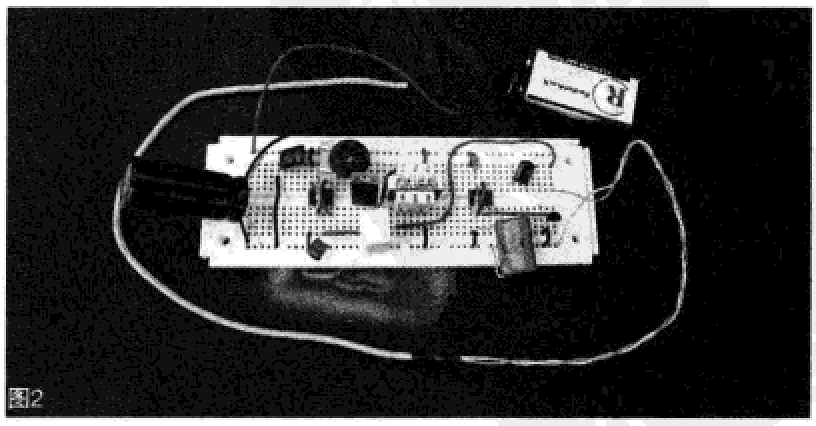


图2

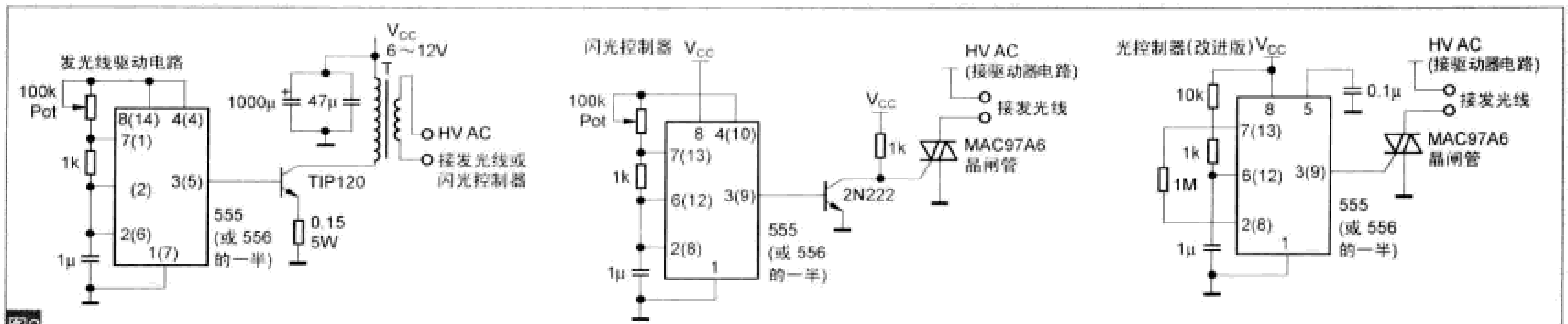


图3

自制驱动器材料清单

时基芯片 2个555或1个556
升压器 1:10
达林顿三极管 TIP120
三极管 2N222
双向触发晶闸管 MAC97A6
电位器 100kΩ×2
电阻 0.15Ω/5W，1kΩ×3
电容 1µF×2，47µF，1000µF
电池 9V
面包板与导线
发光线

发光线和LED比较

在装饰、信号和剧院座位等项目设计中，首要的问题是决定用发光线还是LED。做这个决定的主要因素是基于审美以及哪个设计看起来更聪明。下面是方案的比较：

	发光线	LED灯
优点	可以产生平滑、清晰的线条，可以用现成的驱动器和顺序控制器产生很多视觉效果（开关、闪烁和顺序点亮）。发光线柔软易于安装和拆卸。	可以简单地实现明暗、彩色闪烁和混合彩色效果。更便宜、功耗更低。单位面积能产生更多的光。可以通过镜头投射更远的距离。
缺点	没有混合的彩色，时间长了会变暗。如果剪得太短，那就不得不重新做。	把许许多多LED（比如100多个）焊到一块小板子上非常乏味。控制电路需要自己设计。

发光线动画项目

安妮眨眼

下面这个项目会给大家介绍用发光线成功制作动画图像的步骤和注意事项。这个项目是一个会眨的大眼睛。

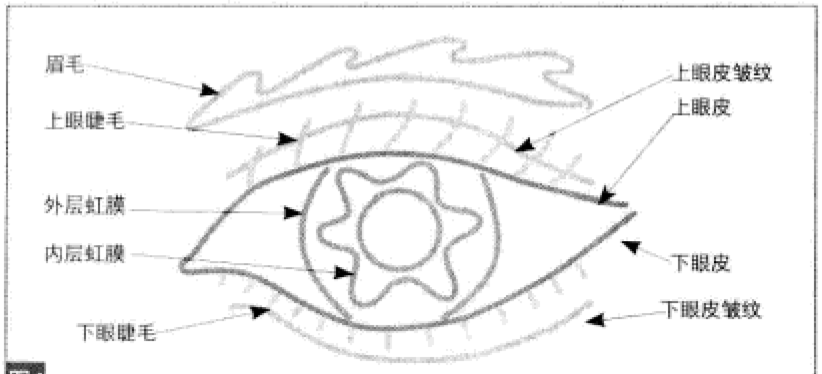


图4

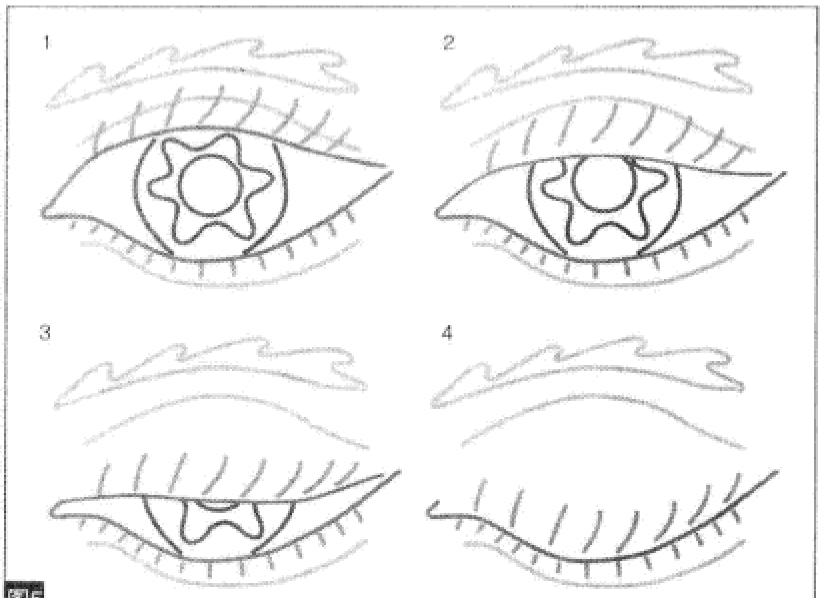


图5

1. 画一个全尺寸的眼睛图

首先，勾画出你想要做的动画草图。我们看到过奔跑的骏马、跳跃的袋鼠、飞着的盘子和跃起的海豚。一个好的设计通过几条线条就能表达出意思。

一旦选定了对象就可以在几张纸上画出全尺寸的图案。需要想好哪个部分要一直点亮——公共的框架，而哪些是动画部分。

在我们这个制作中，公共部分包括眉毛、上下眼皮的皱纹、眼睛下面的边缘和睫毛。动画部分由4个场景组成（见图5），包括了睁开和闭上的眼皮、睫毛、虹膜和瞳孔。为了区分开各种部件并使动画更容易被看出来，我们决定用黄色发光线作眉毛和皱纹，睫毛用绿色的，眼皮用粉红色，瞳孔和虹膜用蓝色。

材料和工具

2.5mm 发光线。高亮标准型，黄色，粉红色和绿色，每种颜色 1.83m
发光线标准驱动器（立方驱动器）
10通道发光线顺序控制器
各种直径的热缩套管
泡沫板，60cm×90cm×0.6cm
铜带、铁丝
网线，8芯，24号双绞线，90cm长
5个压接端子，用于发光线一端
扎带、绝缘胶带
12V电池盒，装8个AA电池
8个AA电池
9V电池扣
彩色铅笔和纸张
剪刀、剪线钳、热风枪、小刀、尖嘴钳、微型支架、2个鳄鱼夹
纸张，用于各线编号
小电钻和小钻头
发光线剥线器（可选）
电烙铁和焊锡

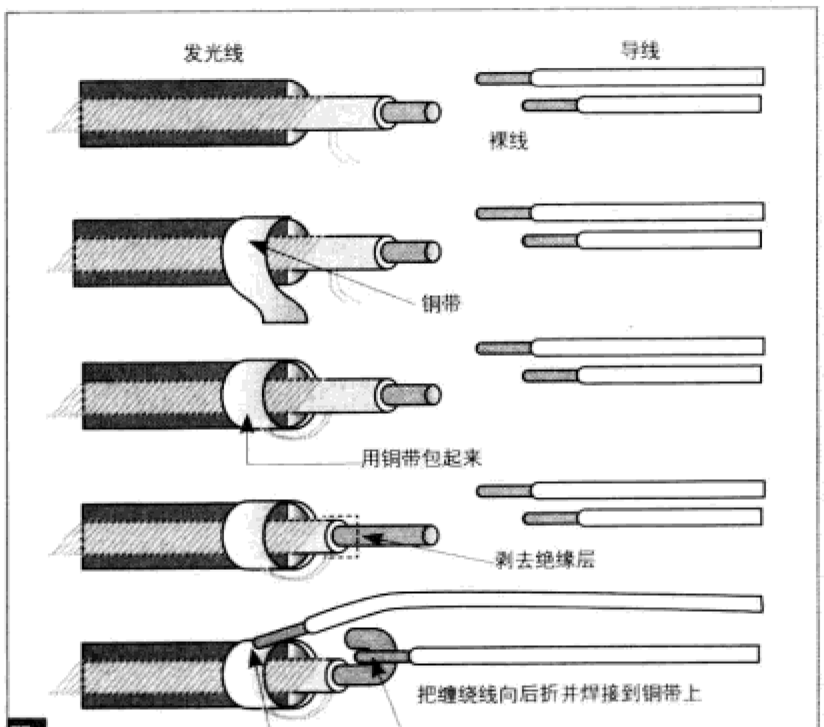


图6

先画一个眼睛睁开的大图（公共部分和场景1）和3个表现场景2～4的图。为了使上面的睫毛在眨动时看起来更流畅，我们在描图纸上先绘制了睫毛，然后临摹到2～4的场景图中。这样处理后，场景中的睫毛会有一定的重叠，观众看起来就像是看到一个东西在动。尽管真实的睫毛运动并不是直上直下的，但这样的动画看起来显得更真实。

2. 把图案转换到安装基材上

发光线很容易安装到任何基材上，我们把这个眼睛安装在一块泡沫板上。在图案转换时，先把绘好图案的纸紧紧贴在泡沫板上，然后用一只铁笔沿着每条线透过纸在泡沫板上戳出一系列的洞，最后用彩色铅笔把这些小洞按照设计连成线。

3. 测量并剪断发光线

要得到对于每一个图像线条合适长度的发光线，可以把相应颜色的发光线压紧，沿着泡沫板上的线条测量合适的长度，然后剪断，剪断的时候要留上15cm的余量。然后把每段发光线都做好标签，例如“场景1/睫毛”。然后把每个场景的发光线都分好组，如“公共或1～4”。

对于那些短的线条如眼睫毛，我们是用一根发光线沿着眼睫毛的方向反复穿进和穿出泡沫板来实现的。先用一根绳子按睫毛的位置折后摆好，用绝缘胶带稍微固定一下。根据绳子的长度剪一截发光线，同样留15cm的余量。

注意：发光线不能折得太厉害。在一些边角的地方可以用另外一根发光线穿到后面，再从其他地方以另外一个角度穿出来实现。实现一些很短的细节时，可以用黑色胶带或热缩套管把光线挡住的方法。

4. 加上引线

在把发光线安装到泡沫板之前，先要给每根发光线连上两根电线（见图6）。我们用的引线是剖开网线得到的，每根网线都有4对不同颜色的线，用网线可以便于用颜色代码来区分4种

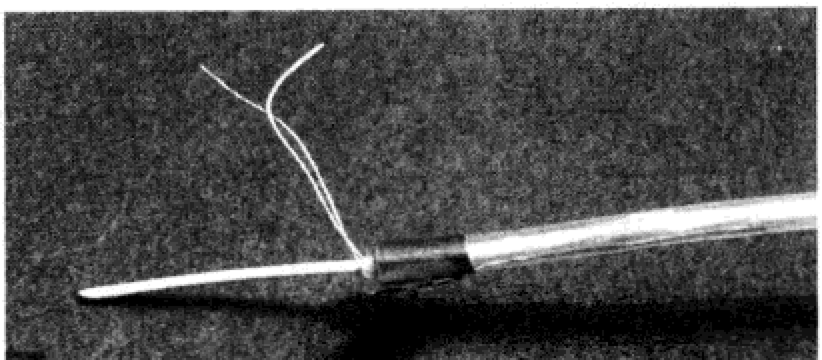


图7

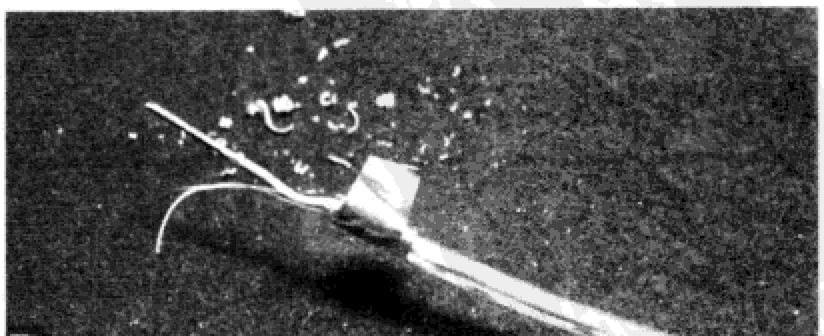


图8

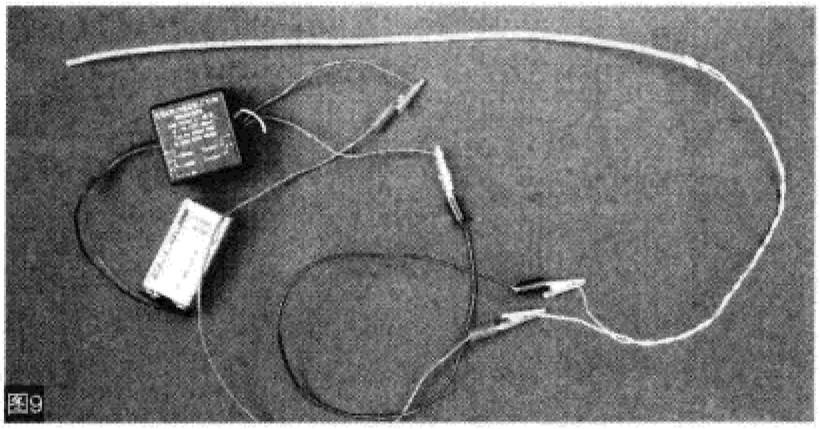


图9

场景（如果是5种颜色的线对就更好了，可以把公共线也包含进来）。下面是把引线和发光线连起来的方法：

把发光线一端的外层绝缘层剥去2cm。

把发光线外层的缠绕线解开，然后在剥掉线的后面绝缘层上用铜带包起来（见图7）。

把缠绕线向后折并焊接到铜带上。

把中心导体上的磷材料彻底刮掉1cm长（见图8）。

剪一截剖出来的网线并把两根线都剥掉360cm长的绝缘层，然后分别焊到发光线的中心引线和铜带上。注意要用能和场景配合的正确颜色的网线（剥线和焊接可以分开进行）。

把连线接到驱动器上，测试一下连接是否正常（见图9）。如果正常，就用热缩套管把连接点套上。

5. 把发光线安装起来，要一个场景一个场景地安装

从公共场景开始，按照画的图，把所有的发光线都一个场景一个场景地安装到泡沫板上，引线穿到泡沫板后面。为了使泡沫板背后不要像意大利面条那样乱，我们让引线从一边出来，可以先在泡沫板的一端钻孔，每个场景的引线都从钻孔处开始布线。

要使每条发光线都紧贴着绘制的曲线，需要用铁丝做的“钉书钉”固定。在要装钉书钉的位置钻上孔，把钉书钉紧贴着发光线穿过泡沫板，在背后用尖嘴钳把钉书钉的引脚折弯（见图10和图11）。

尽管虹膜和瞳孔不会动，但眨动的眼皮会覆盖不同数量的瞳孔和虹膜，因此场景A～C包含了虹膜和瞳孔的变换。我们把相同颜色、不同长度的发光线安装在同一个位置来表达不同范围的虹膜和瞳孔，这些发光线并排排列可以避免相互遮挡光线（见图12）。

安装好每个场景的所有的发光线后（见图13），在后面把

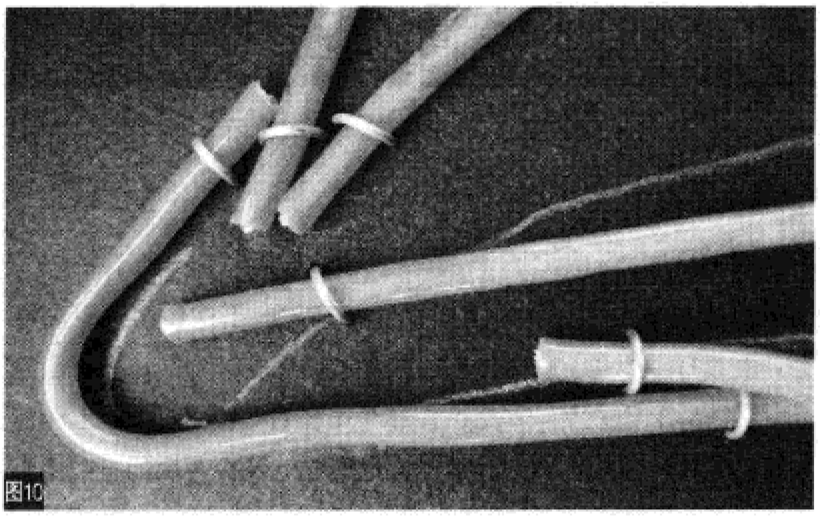


图10

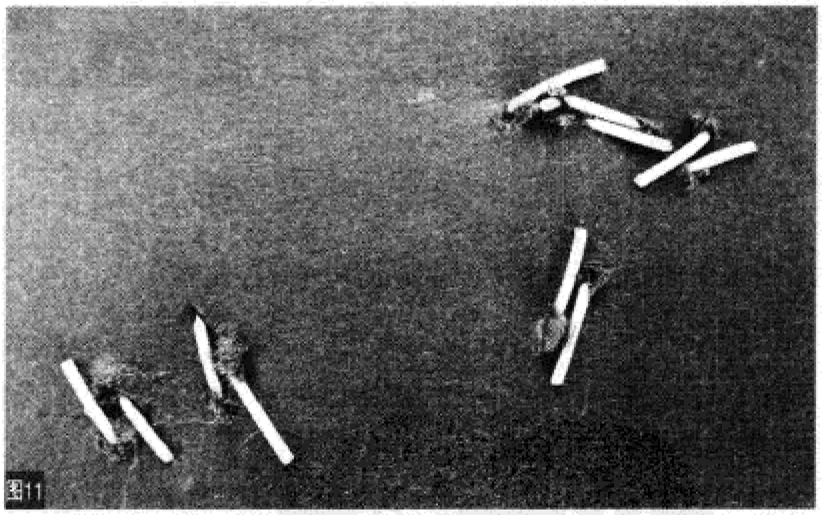


图11

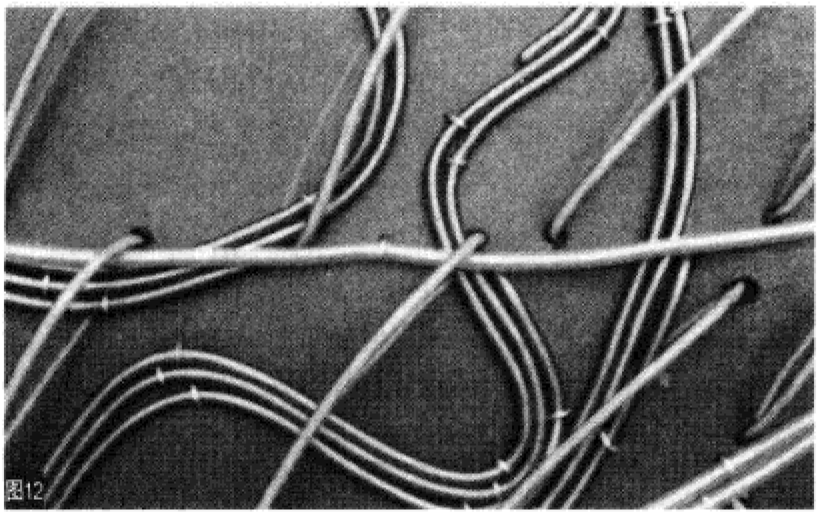


图12

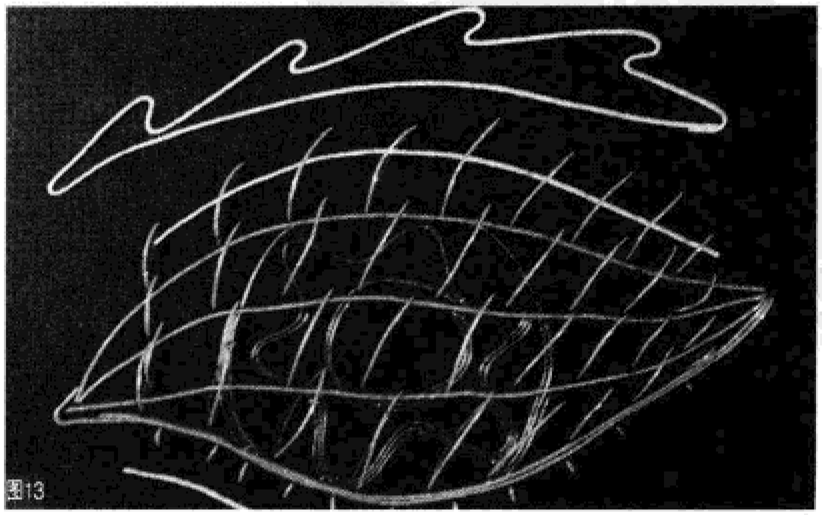


图13

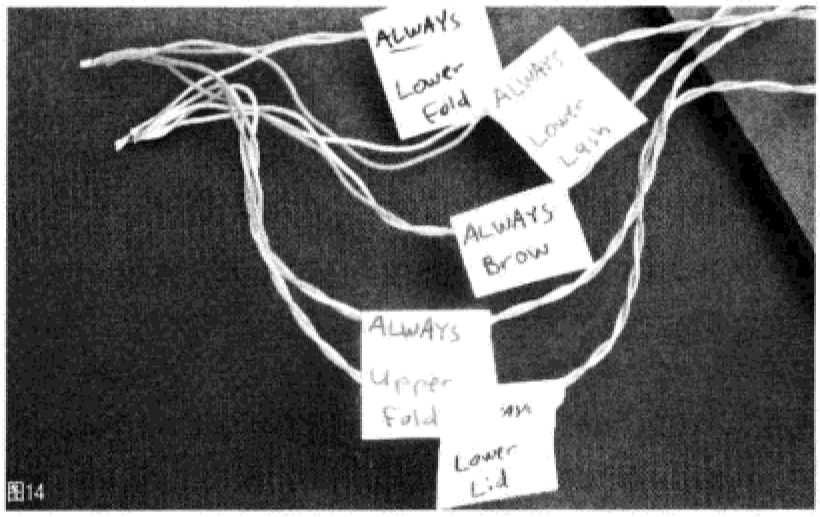


图14

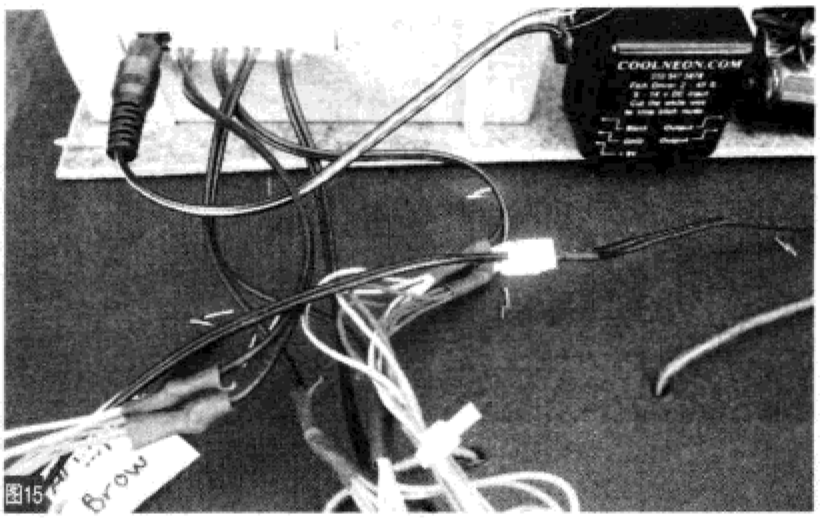


图15

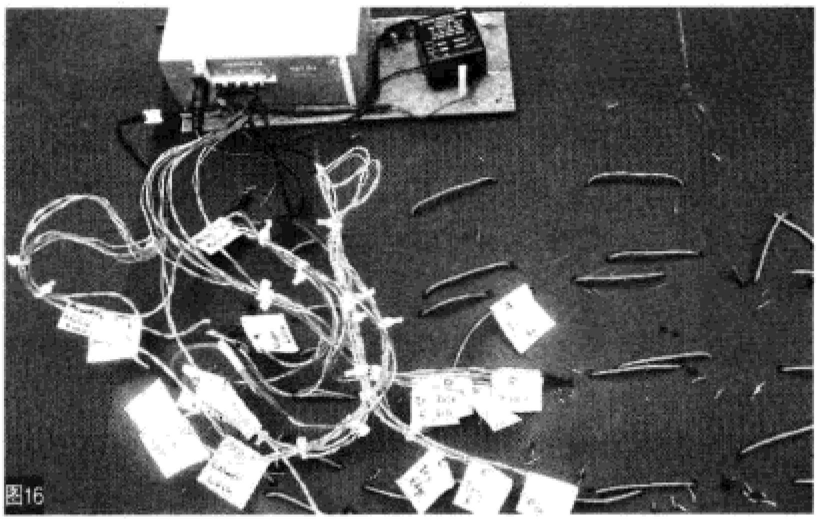


图16

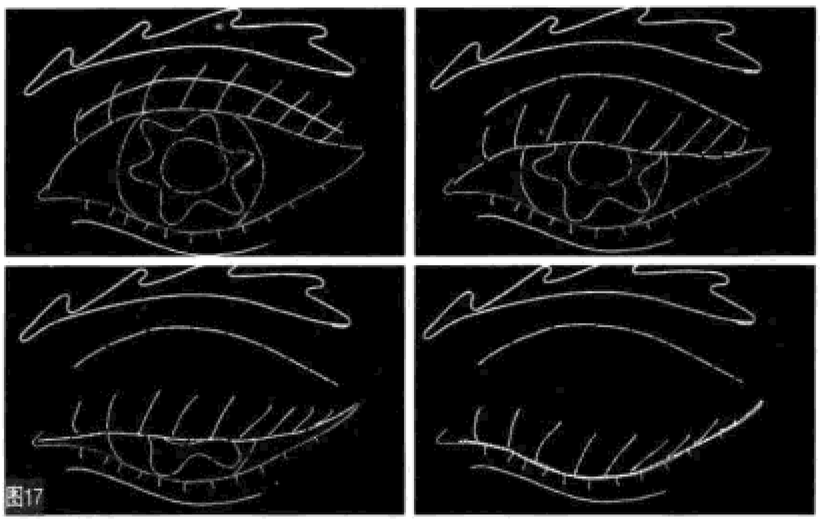


图17

引线扎在一起，并用标签分好类，便于后续的连接。

6. 把各个场景的引线连接到驱动器和顺序控制器

10通道顺序控制器可以在场景1到场景4之间切换，但是并不包括一直点亮的公共部分，因此我们要把公共部分连接到另外一个驱动器（立方驱动器）上。

虽然前面都测试过了，但是在安装过程中焊接点可能会松动，用鳄鱼夹把每条发光线引线都一一夹上，再次测试一遍，发现问题后即时修理，比连接到一起之后再修理要容易得多。

把每一个场景的引线都扎在一起，区分开连接发光线的芯线和外层缠绕线。把连接芯线的引线和连接缠绕线的引线分别拧在一起焊成猪尾式连接（见图14），然后把两个头焊到快插式连接器上。最终会有5个快插式连接器，每一个连接器上都并联了单个场景的所有发光线，最后把5个接头插到顺序控制器或立方驱动器（见图15）上。

路易斯·M·比尔（路易斯·莱特）和史蒂夫·波弗瑞（格努怀尔博士）是Light’N wire Production公司（lightnwire.com）的共同创始人。这个公司也是一个EL冷光艺术-技术的资源中心。他们位于加利福尼亚奥克兰的克鲁斯波技校教授发光线制作艺术并组织“塔博发光线”技术研讨会。

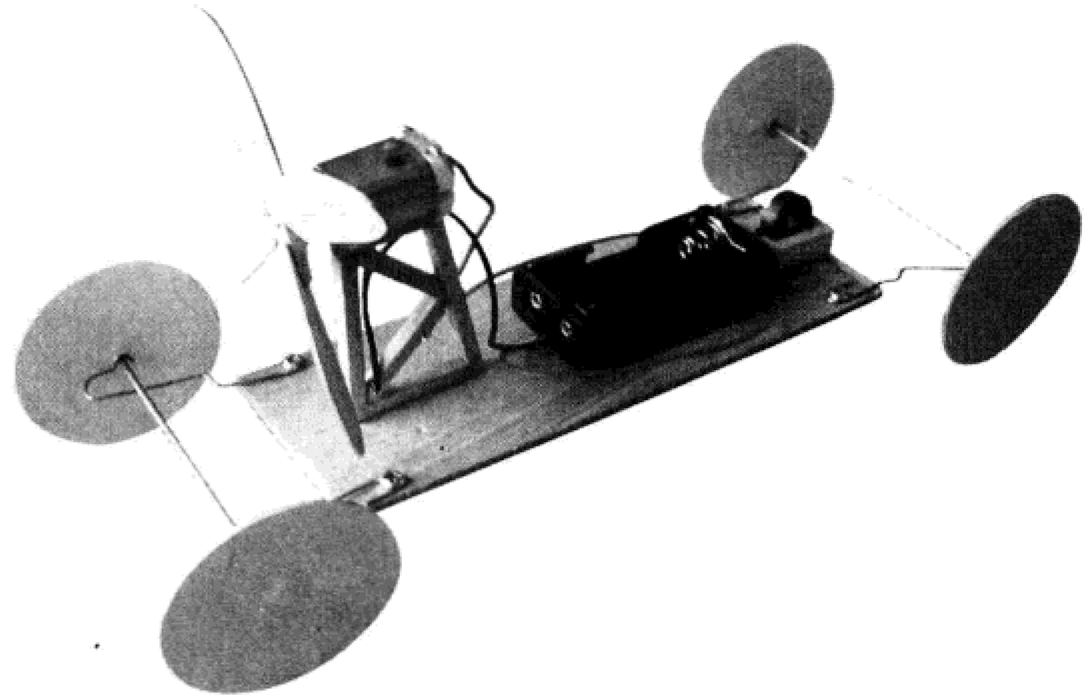
7. 最后总装

顺序控制器和驱动器都是用12V电池驱动，每个都带一个9V电池那种扣式端子。我们需要把一个扣式端子连到两个驱动器上。接着把电池架、顺序控制器和驱动器都安装到泡沫板背后靠近引线束边上的位置。先把这些部件安装到一块密度纸板上，然后用扎带和铁丝固定到泡沫板上，最后把泡沫板背后的引线用更多的扎带扎好（见图16）。

最后，把场景1的插头插到顺序控制器的通道1上，场景2插到通道2，场景3插到通道3，场景4插到通道4。把公共部分插到立方控制器中。选择这个制作适合的控制器模式“1-2-3-4-3-2-1”就可以实现眼睛睁开和闭上的全过程（见图17）。完工！

参考资源

- 安妮眨眼动画录像：makezine.com/go/blink
- >> nstructables 如何给EL电线或其他表皮上漆：makezine.com/go/elwirecoat
- >> ePlaya 燃烧人社区讨论版：eplaya.buiningman.com



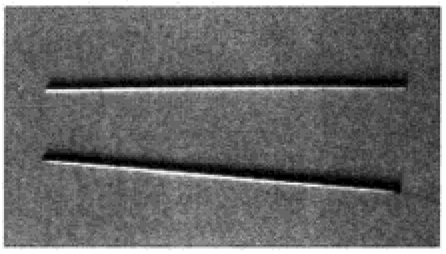
◎张晓宇

简易空气桨动力车制作

制作教程

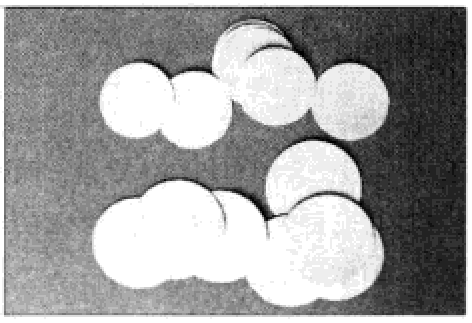
1. 车轴的制作加工

使用小锤在桌虎钳上将两段铁丝修整笔直，制作成车轴。铁丝的直径≤2mm，这样方便加工和制作。用铁锤敲击的时候用力要轻，频度要快；一边敲一边旋转、移动铁丝，改变敲击的位置，并不时地检查是否平直；在桌面或玻璃表面滚动，看看是否顺畅。如果觉得自己用铁丝制作车轴有难度，可以直接使用玩具车的车轴等代替。



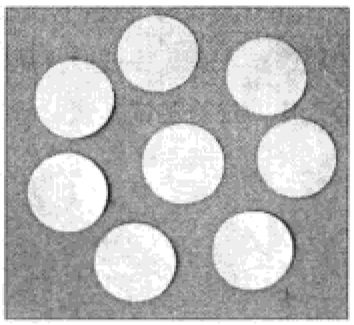
2. 车轮的绘制与裁剪

在230g的卡纸上绘制12个一样大小、直径为40~50mm的圆，用笔标记一下圆心，然后用剪刀小心沿着圆周边缘剪下备用。车轮直径的确定要考虑制作后在什么地面上行驶，如果地面非常平整，可使用直径为40mm的，本例为50mm的。



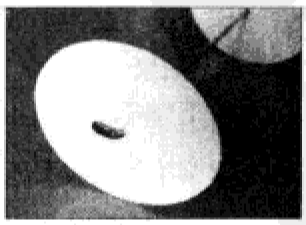
3. 车轮的粘合

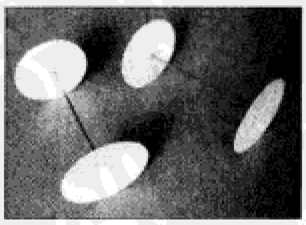
取其中的8个圆片，将一面涂上胶水，然后两两粘在一起，制作成4个车轮备用（与车轴连接后还需再粘一层）。



4. 车轮与车轴组装

将铁丝的一端从制作好的车轮纸片中心穿过，然后将铁丝的一端取6mm左右打弯90°并压平，随后取一个纸片将车轮粘好。





关于螺旋桨制作和螺旋桨的螺距知识可参阅网站：

- 螺旋桨百度百科：http://baike.baidu.com/view/58025.htm
- 易拉罐制作螺旋桨：http://bbs.fblife.com/viewthread.php?tid=458940
- 弯刀螺旋桨制作：http://www.tech-domain.com/thread-405-1-1.html

制作材料准备

木片	3mm×55mm×150mm的1片，1mm×15mm×200mm的1片
木条	4mm×6mm×100mm，1段
230g卡纸	A4，1张
铁丝	长度80~100mm，2根
曲别针	5枚
M3×5mm自攻螺丝	5个
1.5V×2电池盒	1个
干簧管	1个
103瓷片电容	1个
130电机	1个
小磁铁	1块
万能胶或502胶等胶水	

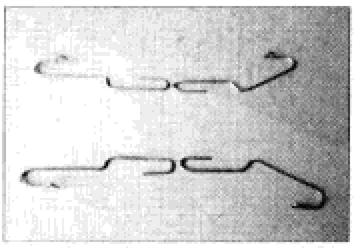
注：如果没有模型专用木料，可使用三层板、雪糕棍制作车底盘等部件，车轮可以直接使用废弃车模的轮子或者利用塑料瓶盖等制作。

制作工具准备

圆规、小尺、电烙铁、焊锡丝、松香、刀、小锤、桌虎钳、尖嘴钳、斜嘴钳等。

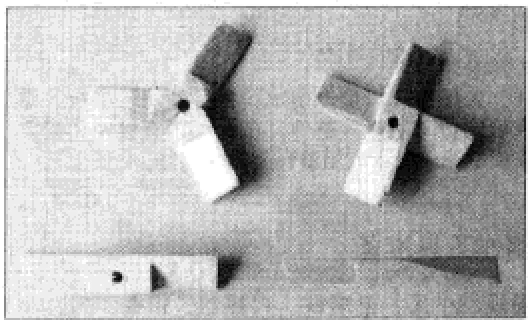
5. 车轴支架的制作

使用曲别针弯制车轴支架，弯制的时候注意方向，弯角长度取3~4mm容易弯制。4个车轴支架制作完成后的效果如图所示。

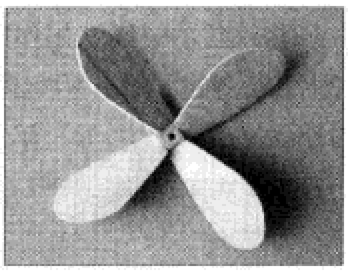


6. 螺旋桨柄的制作

本车使用的螺旋桨为自制简易桨，桨柄使用4mm×6mm的木条制作，桨叶可选择2叶、3叶和4叶的。本例选用了4叶桨，实际上2叶桨就可以让模型跑动了。下面左图是3种桨柄制作完成的效果，从制作的难易度上讲，2叶桨最简单，4叶桨稍难，3叶桨的制作难度最大，因为4叶桨由2个2叶桨叠加而成，3叶桨则需要额外切削衔接角度。每个桨柄的总长度为26mm，本着“长木匠、短铁匠”的原则，坯料至少应是30mm长的一段。在截取两端多余部分后，2叶桨中间保留6mm，4叶桨中间保留10mm，然后在两端斜着切削。



7. 螺旋桨叶的制作

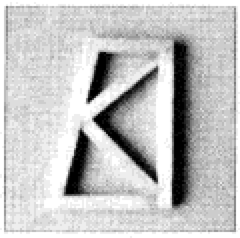


桨叶使用1mm厚的木片制作（也可使用卡纸或柔性塑料制作）。桨叶的绘制原则是前端相对平直，后端圆润富有变化。单侧桨叶的长度为35mm长即可。制作好桨叶后，将其粘到桨柄上，2叶、3叶及4叶桨的效果如图所示。

这只是简易桨的制作，对于一只螺旋桨来说，旋转的时候角速度一定，如果桨叶各位置经过的路径长度不同，也就是说线速度不同，桨叶上受力就会不均匀，所以实际上专业螺旋桨制作要用专用工具螺距规进行螺距的测定。本制作由于速度低、直径小，可以忽略这一步骤。如果要增加美观效果和专业效果，可利用玻璃瓶将桨叶弯折出合理的角度。

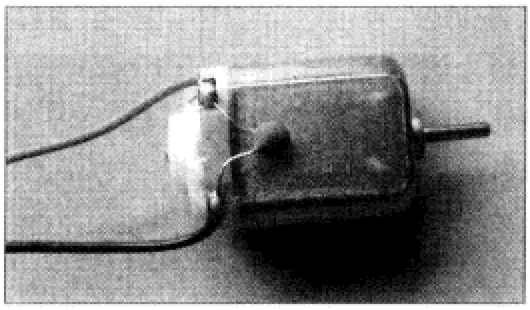
8. 电机支架的制作

使用木条或木片制作电机支架，本例采用了构架式支架。支架高度为45~50mm，上边宽25mm，下边宽35mm。



9. 电机的处理

130电机是普通玩具中常用的电机，可从废弃的玩具中拆卸下来使用。电机在通电瞬间会产生电火花，电刷容易受损，为了延长电机的使用寿命，可在电机的正负极上焊接一个103瓷片电容（0.01μF）。

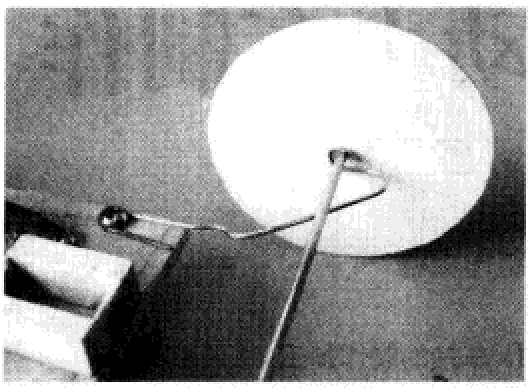


10. 车底盘制作

使用3mm×55mm×150mm的木片、3层板或其他材料制作底盘，两端镶上木条可防止木片变形，提高木片的平整性，同时增加美观程度。

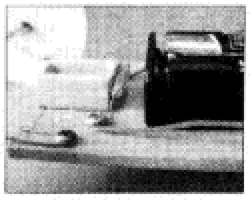
11. 固定支架

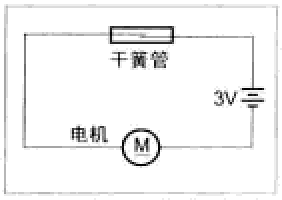
先将电机支架固定到车底盘距离一端大约20mm的中央区域，注意支架平直的一侧朝后。将电机粘接到支架的上部。然后在距离左右两侧5mm，距离前后端13~15mm的位置，使用M3×5mm的自攻螺丝固定车轴支架（注意前后端支架是不同的，不要安错）。

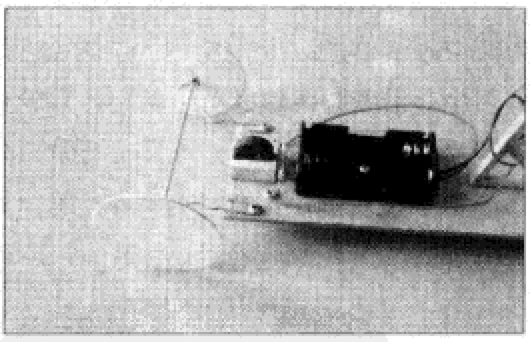


12. 安装电池盒、干簧管、磁铁

使用螺丝固定电池盒。安装干簧管，并制作磁铁的放置槽。





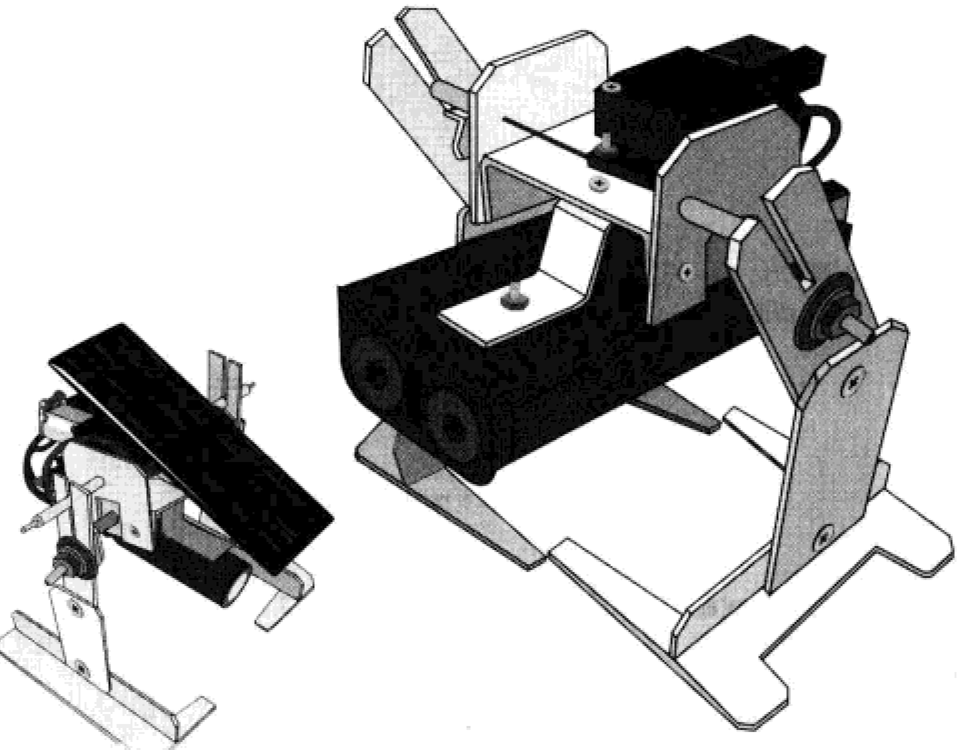


13. 安装螺旋桨

将螺旋桨安装到电机转轴上，进行电路连接。制作完成后（见题图），可以装上电池进行测试。

PVC-Robot 13号：探路者

DIY超简单的双足行走机器人



◎Plenilune ◎插画：刘少冉

本期我们要介绍的是一款控制电路非常简单的仿生双足行走机器人，重点在于如何实现模拟双足行走的机械传动机构。这款机器人只有一对大脚丫，没有手臂，关注科幻、看过动画片的朋友应该知道，这个造型有点像侦察型机甲，笔者给它起了个“探路者”的名字。不过侦察型机甲灵活、迅速，这款机器人走起路来却是小心翼翼、摇摇晃晃的，像是在沼泽、水洼地里艰难跋涉一样。

本项目机器人依然有两个版本，一个是常规电池版的，行走的速度较快；另一个是太阳能版的，行走的速度就堪比蜗牛了。

■ 视频效果：http://v.youku.com/v_show/id_XMjk0NzMzNjQw.html

基本原理

1. 运动方式

双足行走的运动方式，大家肯定都很熟悉。机器人和人的双足行走，在运动原理上是类似的，只不过由于人类的肢体结构比较复杂，在行走的过程中可以做很多细节调整，所以动作灵活、流畅。而这款“探路者”机器人的结构比较简单，运动方式也比较机械，所以动作也显得比较僵硬。

图1显示了双足直立行走的运动过程，即：

（1）双足着地站立。

（2）先迈左脚，左脚离地，身体重心转移到右脚，由右脚支撑身体。

（3）右脚产生一个后蹬趋势，支撑身体前移。

（4）左脚着地，身体重心转移到两脚之间，身体完成一段距离的移动。

（5）再迈右脚，右脚离地，身体重心转移到左脚，由左脚支撑身体。

（6）左脚产生一个后蹬趋势，支撑身体前移。

（7）右脚着地，身体重心转移到两脚之间，身体再完成一段距离的移动。

如此往复循环，就实现了双足行走。

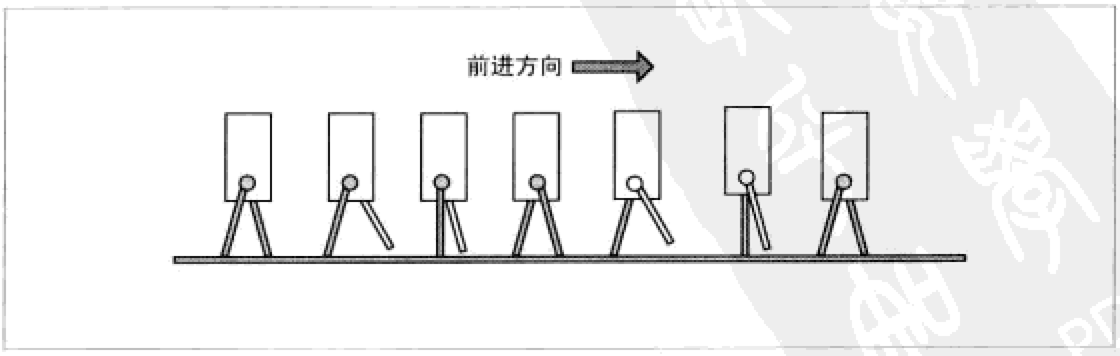


图1 双臂攀爬运动方式动作分解

2. 驱动机理

既然这款“探路者”用双足行走，那么双足的驱动力量肯定要足，这要就需要借助减速电机所具有的“低转速、高扭矩”的特性来实现。与上期介绍的PVC-Robot 12号“索道游者”类似，我们要采用“蜗杆传动机构”对现有的减速电机进行改造，并且让减速电机左右两侧同轴输出。

实现双足行走的机械结构，也和“索道游者”一样，采用“摆动曲柄滑块机构”。左右两套相同的连杆机构，采用同轴方式安装，但两个连杆铰链结合的位

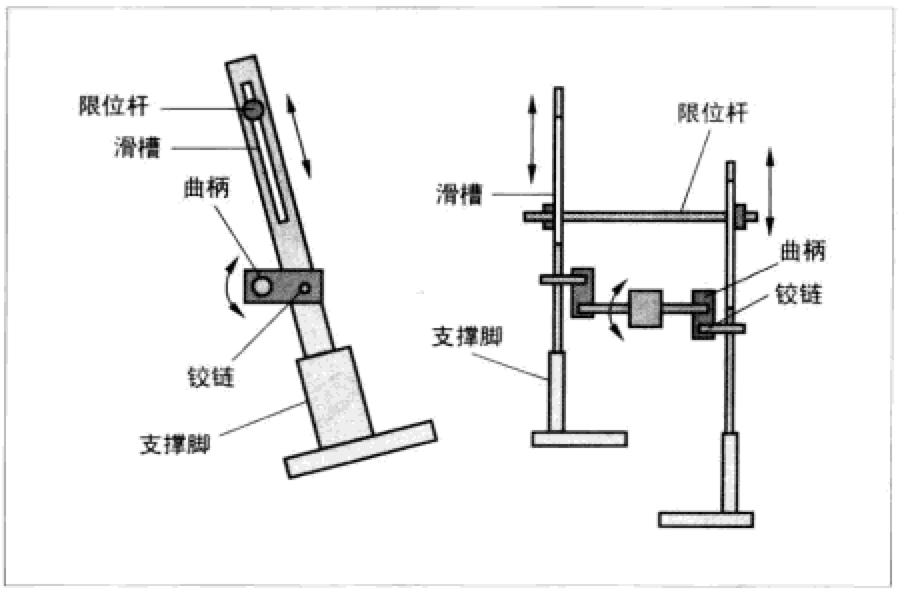


图2 “探路者”的连杆机构

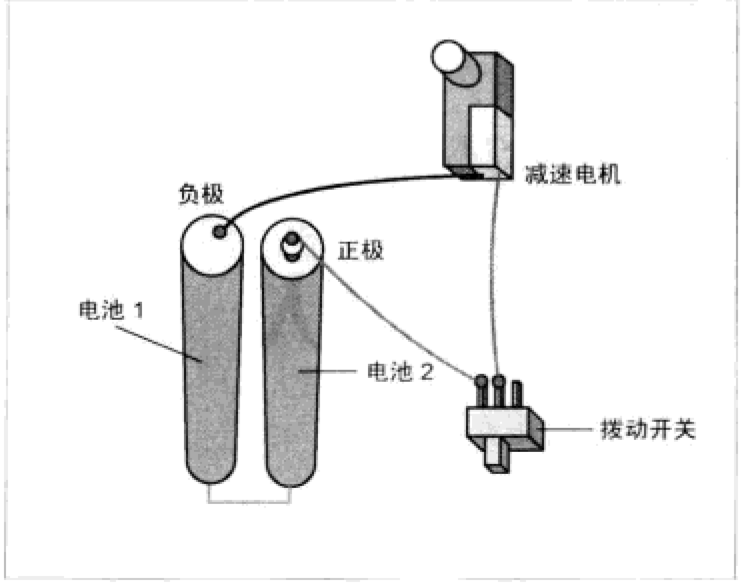


图4 PVC-Robot 13号A版电路焊接示意图

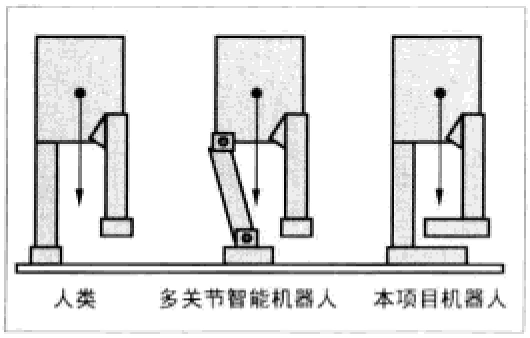


图3 人类、机器人在迈步时保持平衡的不同方法

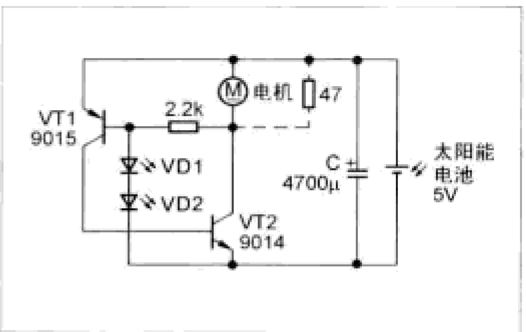


图5 PVC-Robot 13号B版电路图

置正好相反，也就是曲柄的位置正好相反，使得左右两套连杆机构在同一时间上的运动状态刚好相反。只不过在“索道游者”中，这个机构是朝上安装，驱动双臂的。而在“探路者”中，这个连杆机构是朝下安装，驱动双足的。电机的旋转运动会转换为不断前后摆动的迈步运动。

前面已经提到，在迈出左脚时，只有右脚着地，为了确保身体平衡，必须把身体的重心移到右脚上。对于拥有复杂肢体结构的人类来说，通过微调身体的姿势，很容易把身体重心进行改变，以保持身体的平衡。而对于一些拥有较多关节结构的智能机器人，可以通过改变脚踝关节的角度，让机器人身体往右倾斜，把身体重心移动到右脚，以保持身体的平衡。而“探路者”的结构相对比较简单，无法通过改变关节角度来改变重心，这时候就需要把支撑脚的脚掌做得比较大，让左脚离地时，仅靠右脚还能够保持住身体的平衡。

3. 电路原理

本项目有A、B两个版本，电路与上期介绍的PVC-Robot 12号一模一样。A版采用常规电池供电，电路非常简单，就是直接用一组电池连接一个电机，中间通过一个拨动开关来控制电路的通断，如图4所示。B版则采用太阳能脉动充放电控制电路，如图5所示，其中以虚线连接的47Ω电阻，请在电池充电速度大于电机放电速度导致无法正常运行时再连接。

准备工作

本项目需要的器材主要包括PVC线槽、带减速齿轮箱的电机、太阳能电池、电池盒、电阻、电解电容、发光二极管、三极管、螺丝、螺帽等，如图6所示。主要的器材都可以从网上购买，表1列出了采购成本。由于有些器材是批量采购的，而制作一个机器人用不了那么多（剩下的可以留待以后使用），所以另外加了一项成本折算。

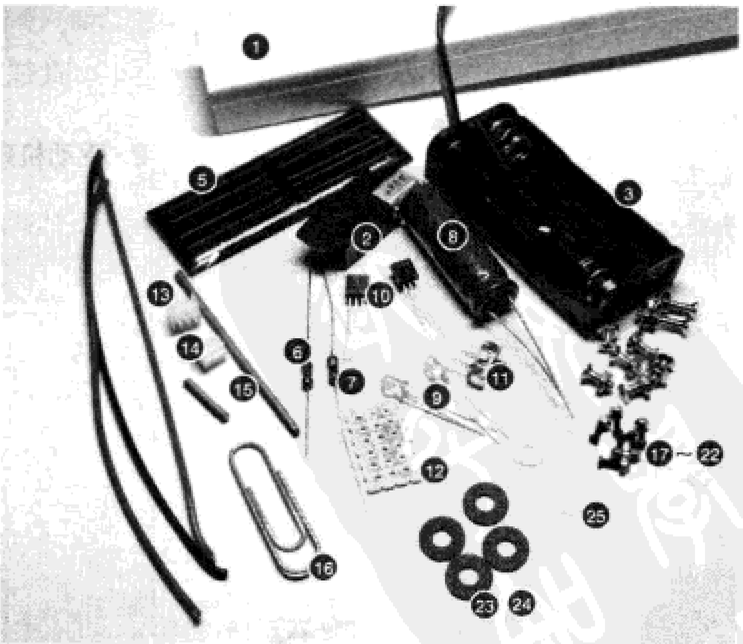
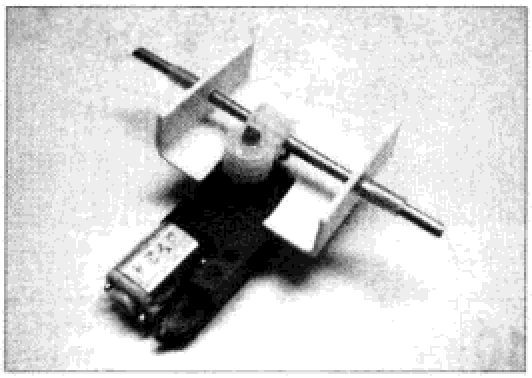


图6 制作所需的材料

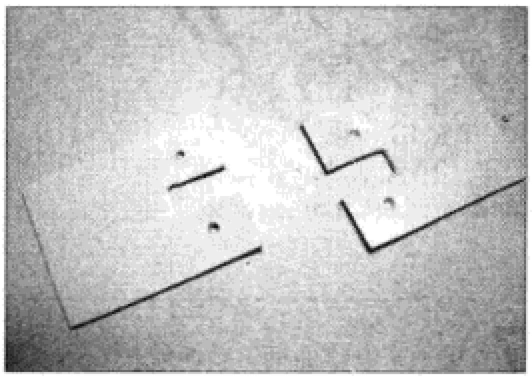
制作过程

A、B版通用部分

1 对减速电机的改造与减速箱的制作，详见第8期PVC-Robot 15号制作的1～17步。唯一的不同是，电机要垂直于转轴来安装。



2 剪两块长2.5cm、宽2cm的PVC方块作为支架，并在如图所示的位置开两个槽，在槽位两侧再用锥子打两个孔。



3 把支架立在减速箱外壳两侧，在减速箱外壳上的对应位置也打好安装孔，用M1.2的螺丝、螺母把支架与减速箱外壳固定在一起。

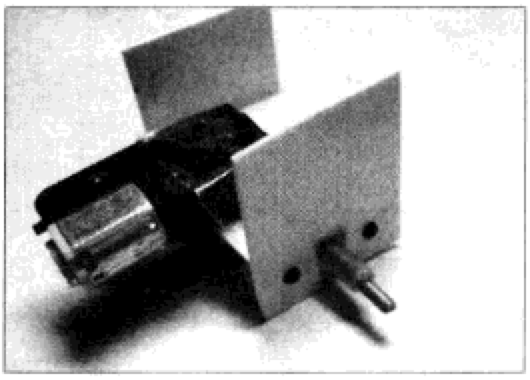
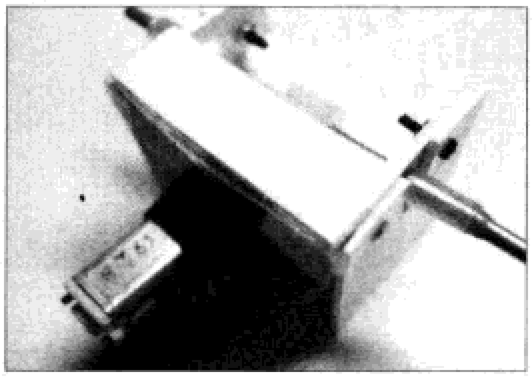


表1 制作所需的材料与成本

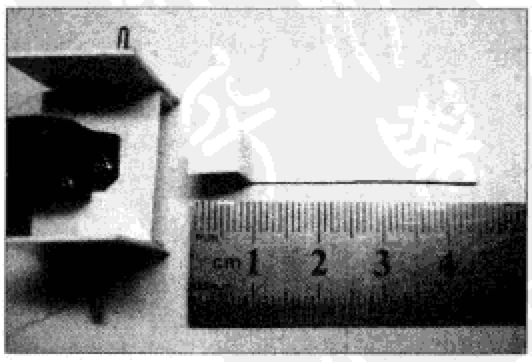
名称	规格	数量	采购预算/成本折算	用途
1 PVC线槽	2.5cm宽	1段	4元 / 0.5元	主要结构材料
2 小电机	带齿轮减速箱的微型电机	1个	3.5元	动力
3 电池盒	7号（AAA）电池盒	1个	1元	A版电池盒
4 电池	7号（AAA）电池	2个	2元	A版电池
5 太阳能电池	5V	1片	2.5元	B版电源
6 电阻	2.2kΩ	1个	8元 / 0.03元	B版电子元件
7 电阻	47Ω	1个	0.03元	B版电子元件
8 电解电容	4700μF	1个	0.4元	B版电子元件
9 发光二极管	LED（绿）	2个	0.16元	B版子元件
10 三极管	9014、9015各1个	2个	4.5元 / 0.15元	B版电子元件
11 拨动开关	小拨动开关	1个	0.36元	A版电源开关
12 电路板	电路板/实验板/万用板/洞洞板	1块	1.5元	B版
13 蜗杆	模数0.5，孔径1.9mm	1个	4元 / 0.5元	减速机构
14 小齿轮	模数0.5，孔径1.9mm	1个	0.5元	减速机构
15 转轴	直径1.8mm的铁丝/钢丝	2段	0.5元	齿轮轴/驱动轴
16 曲别针	文具回形针	1个	0.01元	限位杆
17 M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	6颗	4元 / 0.24元	固定PVC材料
18 M2×6螺丝	直径2mm，长6mm，平头	6颗	2元 / 0.12元	固定PVC材料
19 M2×10螺丝	直径2mm，长10mm	2颗	4元 / 0.08元	曲柄铰链
20 M1.2螺母	孔径1.2mm	6颗	15元 / 0.9元	固定螺丝
21 M2螺母	孔径2mm	6颗	2元 / 0.12元	固定螺丝
22 M2螺母	孔径2mm	4颗	0.08元	固定曲柄铰链
23 M3垫片	孔径3mm	2片	2元 / 0.04元	A版装饰（眼睛）
24 M3垫片	孔径3mm	2片	0.04元	铰链垫片
25 M2垫片	孔径2mm	2片	3元 / 0.06元	铰链垫片
合计			65.08元 / 15.32元	

A版

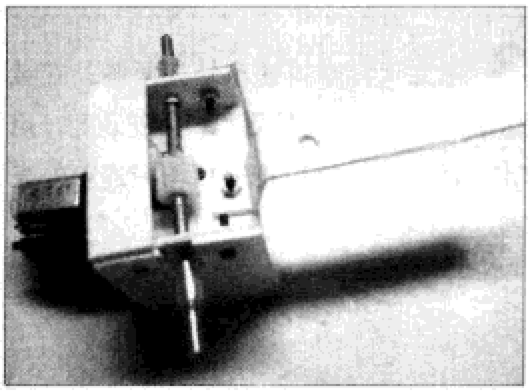
1 剪一块大小正好可以搭在减速箱外壳底部的PVC方条，用于安装电池盒。用透明胶带把该PVC方条粘贴在减速箱外壳底部上。



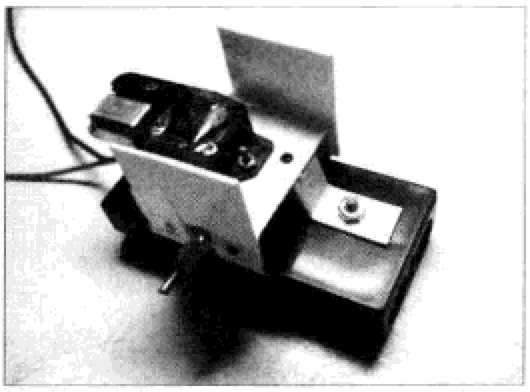
2 再剪一块长6cm、宽1cm左右的PVC方条，用尖嘴钳折成如图所示的形状。



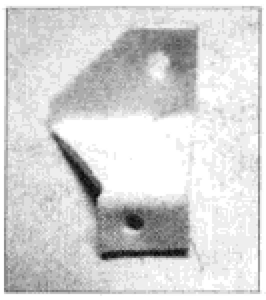
3 在方条和减速箱上都打一个小孔，用M1.2螺丝、螺母固定起来。



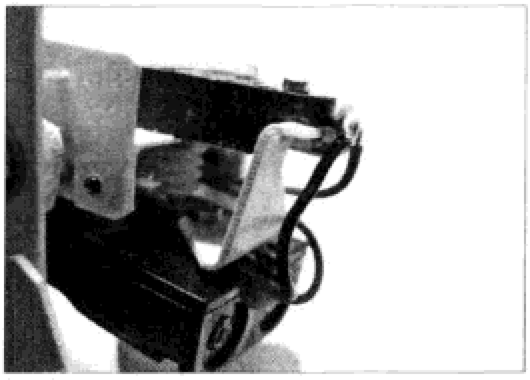
4 把装有减速电机的减速箱安装到已经按照下图焊接好（此时导线可留长一些，便于调试）的电池盒的背面。减速箱有方条的一侧，对着电池盒的安装孔打一个2mm左右的孔，用M2螺丝、螺母把减速箱和电池盒固定起来。减速箱有减速电机的另一侧，用透明胶布粘贴在电池盒上。PVC方条的多余部分可用剪刀剪掉。



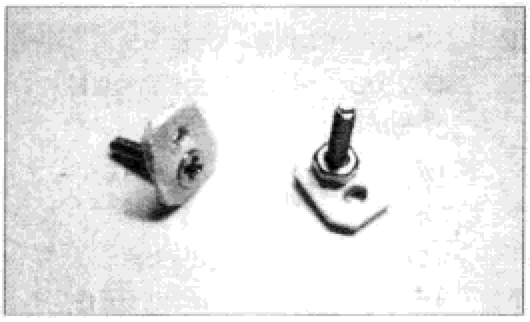
5 假如减速电机上连着蜗杆的短轴太长了，高出减速箱外壳的底部，就无法如上面所述的那样在减速箱外壳底部增加一个垫底的PVC方条。此时需要在减速电机的尾部增加一个如图所示的支架。



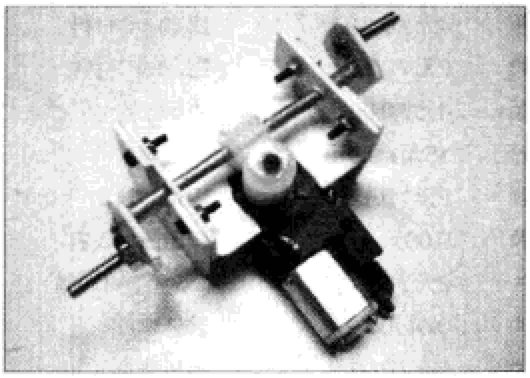
6 用支架把减速电机和电池盒连接起来，支架与电池盒用M2的螺丝、螺母固定，支架与减速电机尾部用M1.2的螺丝、螺母固定。



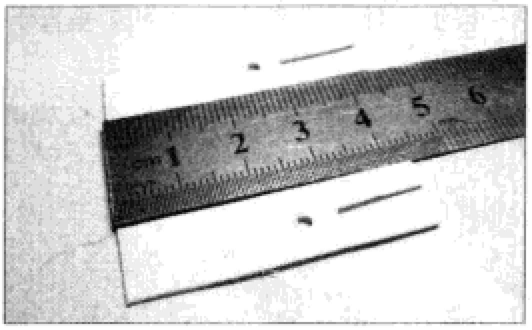
7 接下来制作曲柄。剪两块长1.5cm、宽1cm的PVC方片，紧邻着打两个小孔，其中一个用M2×10的螺丝穿过，并用M2的螺母固定。



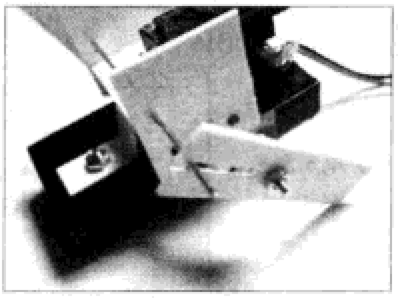
8 把制作好的曲柄套到减速箱输出的转轴上，并用502胶水把转轴与曲柄的接合部位固定起来。需要注意，曲柄上有螺丝突出的一侧向外，并且两个曲柄的安装方向要完全相反，即当一个完全向上（左）时，另一个完全向下（右）。



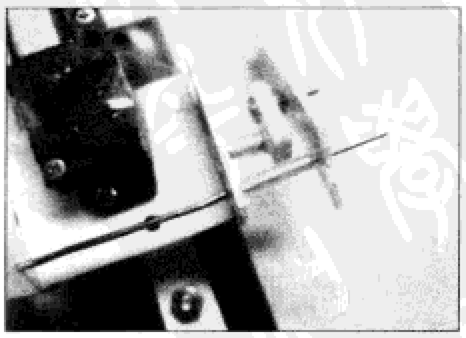
9 剪两块长4.5cm、宽1cm左右的PVC方条作为大腿。在离其中一侧2.5cm的地方打一个直径2mm的小孔，再用剪刀从另一侧剪开一个长1.5cm、宽0.2cm的槽位作为曲柄连杆的滑槽。



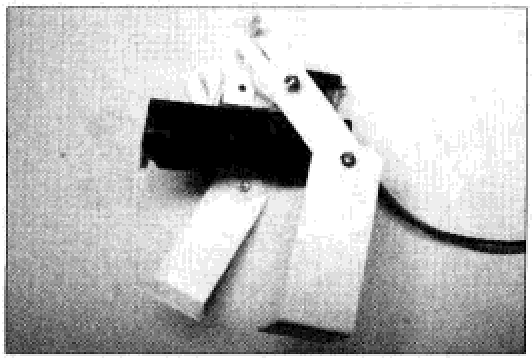
10 在减速电机外壳所连接的支架上，对着减速箱输出轴前上方位置打两个小孔，将作为限位杆的拉直后的曲别针从中穿过。把大腿安装到曲柄上，并把限位杆扣入到槽位中。



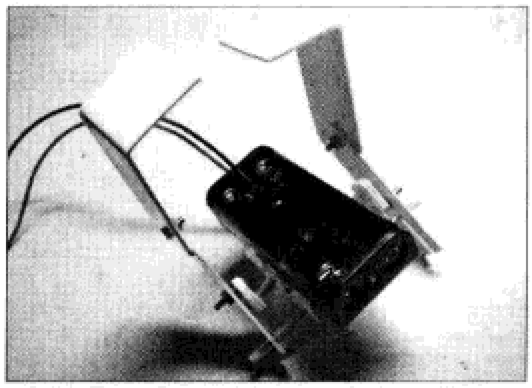
11 沿着限位杆（减速箱外壳与大腿滑槽之间存在空隙）用透明胶带绑上几层做成一个垫圈杆，可以确保大腿摆动在一定的范围内。把限位杆两侧长出的部分用尖嘴钳截短一些，然后在限位杆与减速箱支架小孔结合的部位，涂上少量502胶水，把限位杆固定起来。



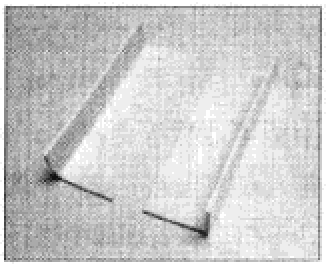
12 剪两块大约长2.5cm、宽1.5cm的PVC方条，做成小腿。把小腿与大腿用M2×6的螺丝固定在一起。



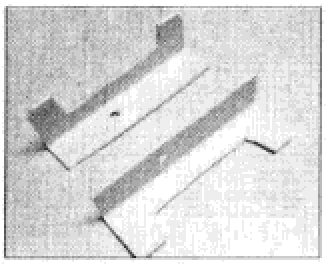
13 在限位杆外侧，用透明胶带缠绕多圈形成一个胶套，胶套最外侧可以滴一点502胶水固定住，防止曲柄的滑道偏离预定轨道。



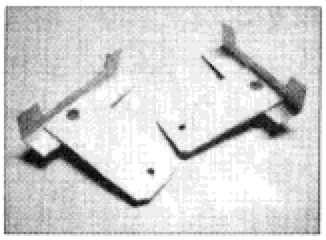
14 选一块宽约 2.5cm的PVC线槽，用剪刀截出长约3.5cm的一段，剪掉PVC线槽的凹槽部分，再剪成两个部分。



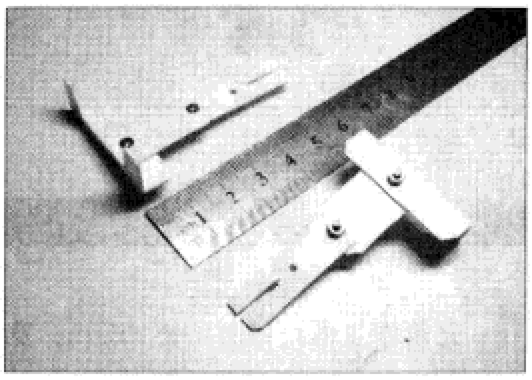
15 继续用剪刀和锥子加工成如下形状，做成脚掌。



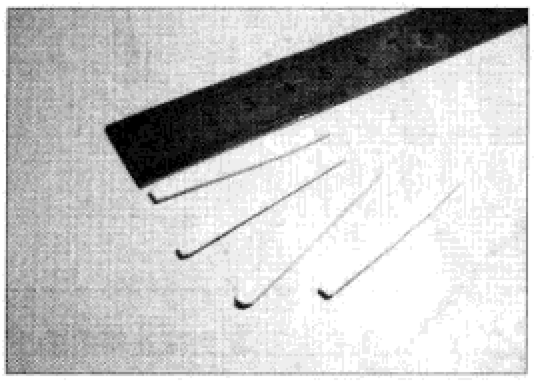
19 把小腿与脚掌也用M2×6的螺丝和M2螺母固定在一起。



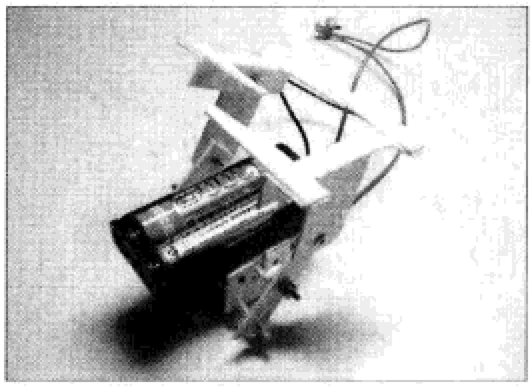
18 把大腿、小腿 、脚掌等部分都连接在一起。



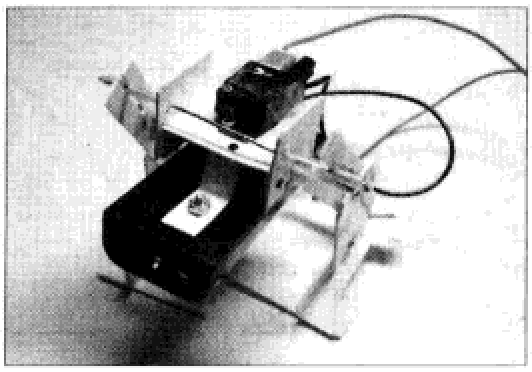
17 再剪4块长4cm、宽0.5cm左右的方条，作为脚掌延伸出来的脚趾。



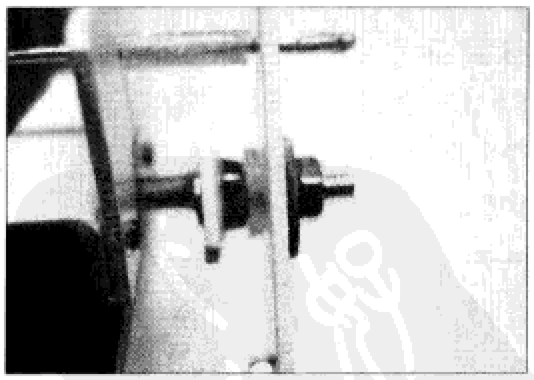
16 把脚趾直接用502胶水粘贴在脚掌上。



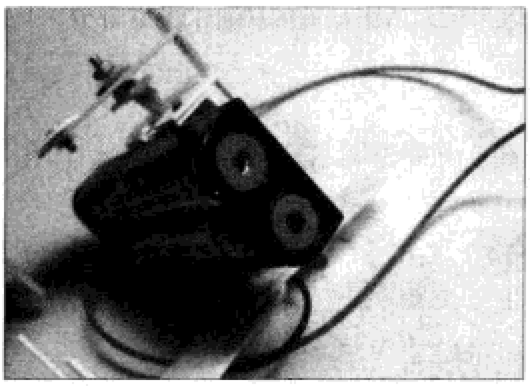
20 接上电源，测试是否能完成基本的迈步动作。注意，脚掌上的脚趾可能会碰到一起，导致双脚卡住动弹不得，此时可以用剪刀适当地剪掉脚趾的前端部分。



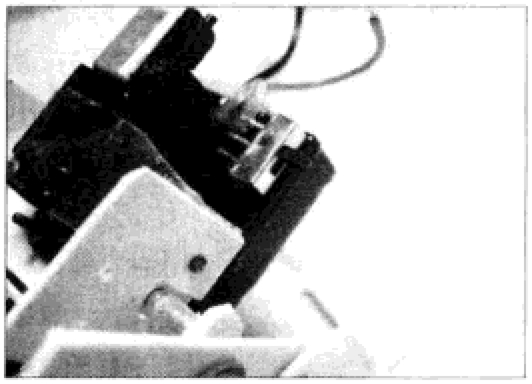
21 把小腿正式安装到曲柄连杆机构上，用M2×10螺丝和M2螺母固定，然后各关节的接合面上需要借助垫片保持顺滑。 按照曲柄（带螺母）、M2垫片、小腿、M3垫片、M2螺母的顺序进行叠放。假如曲柄上的螺母安装得不是很正，或者小腿上的孔打得过大了，建议曲柄螺母和小腿之间再用一个M2螺母隔开。注意螺母不能拧得太紧，否则会让脚卡住无法迈步；但也不能太松，否则会导致迈步时左右摆动过大而站立不稳。最后，将少量502胶水涂在最外侧M2螺母与螺丝之间，让螺母的位置固定下来，不至于在活动过程中松动或者扭紧。



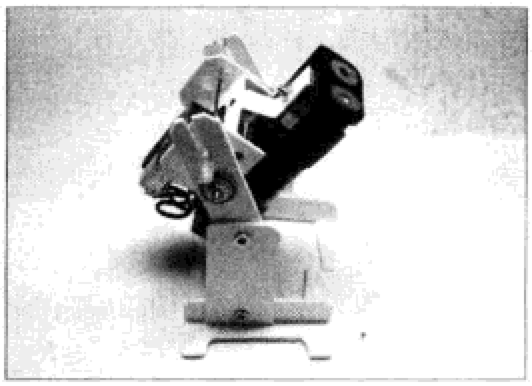
22 可以把两片M3垫片用502胶水贴在电池盒的圆槽上，作为机器人的眼睛（纯属装饰，无实际作用）。



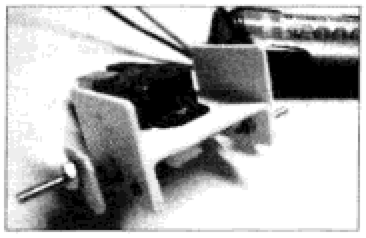
23 电源开关可以用少许502胶水粘贴在尾部电池盒上。



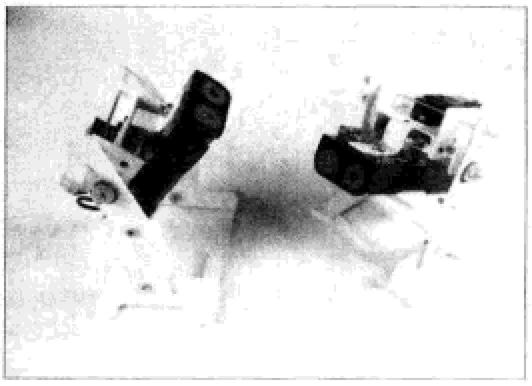
24 把过长的导线剪短，仅留合适的长度，然后全部再焊接好，就制作完成了。不过目前这个机器人行走起来，多半会无法保持平衡而跌倒。通常还需要调整小腿与大腿间的关节，让大腿向后弯曲一些，即让整个机器人处于上仰的状态，才能保持平衡，持续行走。可以边试验，边进行调整。



25 前面我们把曲柄限位杆安装在减速箱支架的前上部位，即与减速电机输出转轴是呈一定角度的，这样机器人行走时必须身体上仰才能保持平衡。如果希望机器人行走时身体不要过于上仰，可以把曲柄限位杆直接安装到减速电机输出转轴的正上方。

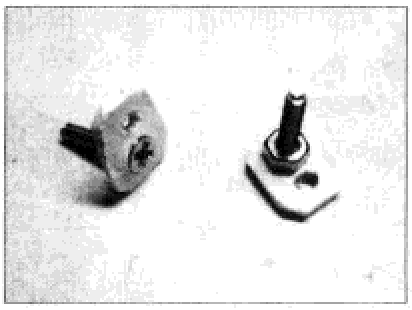


26 调整限位杆位置后，姿态相对没有那么上仰了。另外，改进版的电源开关是安装在前端而不是尾部。

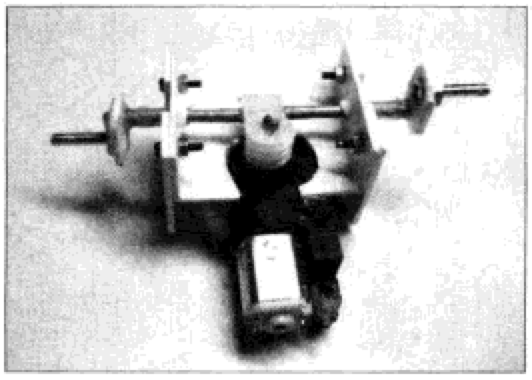


B版

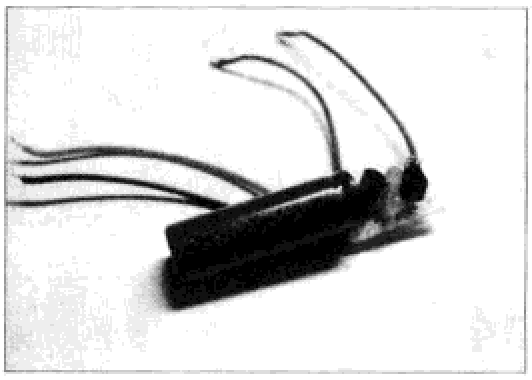
1 先制作曲柄。剪两块长1.5cm、宽1cm的PVC方片，紧邻着打两个小孔，其中一个用M2×10螺丝穿过，并用M2螺母固定。



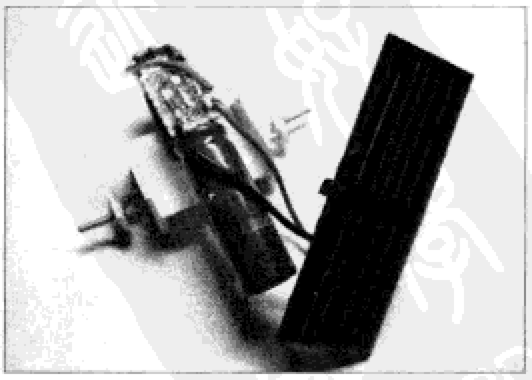
2 把制作好的曲柄套到减速箱的输出转轴上，注意曲柄上有螺丝突出的一侧向外，并且两个曲柄的安装方向要完全相反。然后用502胶水把转轴与曲柄的接合部位固定起来。



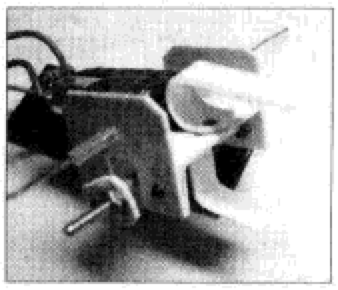
3 关于控制电路焊接的说明不再重复，如有问题请参考今年第4期关于PVC-Robot 3号的介绍。



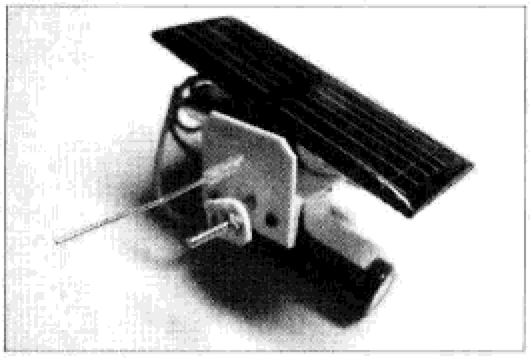
4 把焊接好的电路板与减速电机、太阳能电池板等连接在一起，如果一切正常，在太阳光下或高亮度的白炽灯前，减速电机可以有规律地进行间歇转动。



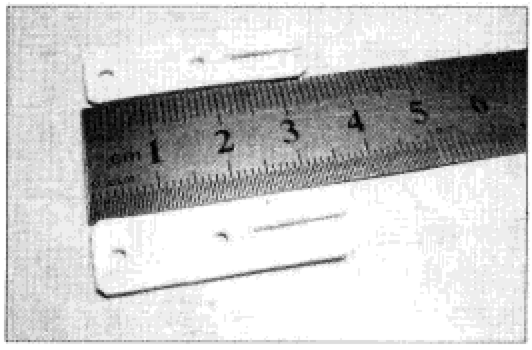
5 剪一块PVC小方条，弯折成如下图的形状，在上面打一个小孔，并用M1.2螺丝、螺母固定在减速箱外壳前端。同样在减速箱外壳的另一侧，也剪一块PVC小方条折好，在上面打一个小孔，与上面的方条用同一根螺丝固定在一起。



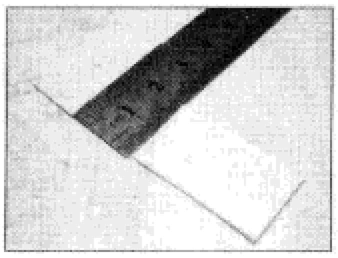
6 减速箱底部的方条，与控制电路的电解电容用透明胶带绑在一起。而减速箱上方的方条，与太阳能电池板绑在一起。



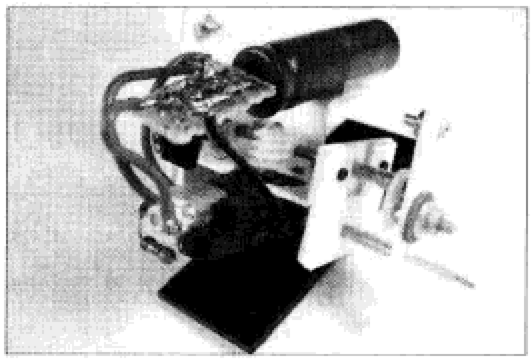
7 剪两块长3.5cm、宽1cm左右的PVC方条，作为大腿。在离其中一侧0.3cm和1.5cm的地方各打一个直径2mm的小孔，再用剪刀从另一侧剪开一个长1.5cm、宽0.2cm的槽位作为曲柄连杆的滑槽。B版的大腿比A版的短小，这是因为B版的电源是太阳能，动力没有A版那么足，所以适当缩短了腿部，以降低对动力的要求。



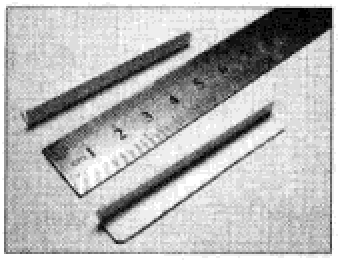
8 剪两块长2.5cm、宽1.5cm左右的PVC方条，做成小腿。由于造型上的需要，实际小腿比大腿还粗。



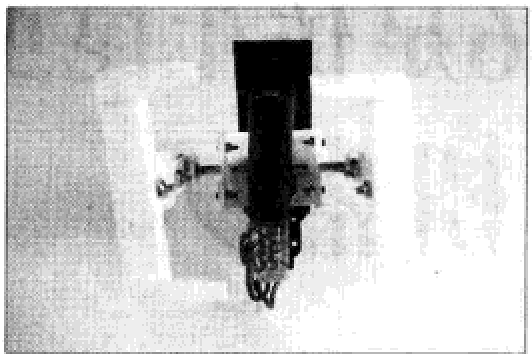
9 把小腿安装到曲柄连杆机构上，曲柄上本身以用M2×10螺丝和M2螺母固定，然后各关节的接合面上需要借助垫片保持顺滑。按照曲柄（带螺母）、M2垫片、小腿、M3垫片、M2螺母的顺序叠放安装。最后，将少量502胶水涂在最外侧M2螺母与螺丝之间，将螺母的位置固定下来。在限位杆上、减速箱支架与大腿之间、大腿外侧部分，都用透明胶带多缠绕几圈，做成限位的胶套，把大腿适当夹住，以控制双腿摆动的轨迹范围。把限位杆截短，在最外侧的限位胶套上滴上一点502胶水，把位置固定下来，防止曲柄的滑道偏离预定轨道。



10 B版的总体重量虽然不及A版，但是由于B版行动缓慢，很多时候都处于半静止状态，所以对平衡的要求更为严格，需要安装更大的脚掌。裁剪两段长约5cm的PVC折角长条作为脚掌，注意其造型与A版有点不同。



11 再剪4块长4cm、宽0.5cm左右的方条，作为脚掌延伸出来的脚趾，用502胶水粘贴在脚掌底部。在行走调试过程中，逐步剪短脚趾长度，既保证两侧的脚趾不碰在一起，又保证不会影响身体的平衡。



调试

1. 动作调试

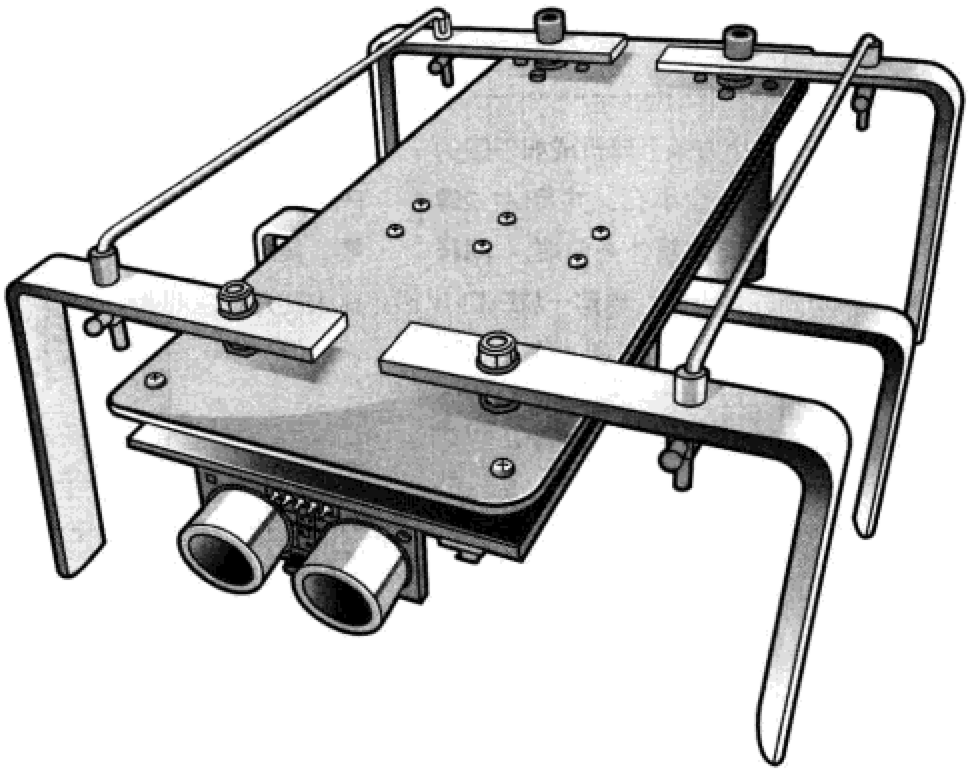
让机器人往前迈步，如果发现机器人行走的方向反了，把连接减速电机的两根导线调换过来就行。

调试行走动作时，主要是调整膝盖关节的角度，确保迈步的整个过程都能够保持身体的平衡，不至于摔倒。按照经验，以现有的结构，通常需要把双足的大腿部分稍微往后弯曲一点角度，才能较好地保持身体平衡。

2. 姿态调试

曲柄限位杆安装的位置，决定了机器人行走时姿态。如果限位杆位于转轴的前上方，则机器人重心比较靠前，行走时身体必须是上仰的。如果限位杆正好位于转轴的正上方，则机器人重心相对居中，行走时身体相对没有那么上仰，而是有点俯身的效果。

本项目可以积累较多机械结构制作以及运动姿态调试等方面的经验，为后续深入DIY机器人打好基础。由于探路者的运动方式是比较经典且有趣的，对多数人都有较大吸引力，所以我想不用多说，大家都已经跃跃欲试了吧？



◎臧海波 ◎插画：肖娴

6足仿生昆虫机器人

9月3日，在2011上海国际无线电展上，由《无线电》杂志主办的“创意电子嘉年华”主题活动中，龙凡汇众（DFRobot）公司展示的会追踪红光的6足机器人受到了极大关注。那款机器人的结构非常类似我们在今年8月刊中介绍的《基于AVR单片机的6足机器昆虫》，需要使用18个舵机来控制关节，结构相对复杂，制作起来有一定难度。本期我们要介绍一种相对简单的6足机器人设计方案，在你入门后，可以通过尝试制作它来提高DIY水平。虽然它的样子没有那么酷，不过制作乐趣可一点都不少！

在制作了一系列单电机和双电机驱动的简易机器人以后，我开始试着制作稍微复杂一些的机器人。本文中的机器人，是一部由3只电机驱动的6足仿生昆虫机器人，别看电机只增加了一只，难度却一下子提高了好几倍。

3电机步行机器人的两种常见结构

由3只电机驱动的步行机器人有两种常见的结构。

1. Hexapod昆虫机器人

一种是著名的Hexapod，即昆虫机器人。在Google上搜索Hexapod可以找到很多机器人爱好者制作的风格各异的作品。我要制作的是一部简单的6足Hexapod，机器人的左前腿、左后腿及右前腿、右后腿通过拉杆连接，在左后和右后侧减速电机的驱动下做水平动作。左中腿和右中腿在腰部电机的驱动下做垂直动作。这部仿生昆虫机器人在爬行的时候，有着类似生物昆虫一样的步态，总是保持3足着地，即通常所说的Tripod Gait（三脚架步态）。三角架步态可以确保机器人在运动时重心平稳，不会摔倒。

仿生昆虫的步态规划非常灵活，我给仿生昆虫机器人制定了两种步态方案，如表1和表2所示（顺、逆、停为3只电机的状态，根据机械结构的不同、电机方向的不同，状态也不尽相同），实际使用的步态是表1的步态方案。

2. BEAM爬虫机器人

另一种是BEAM爬虫机器人，类似上期《基于不同控制理念的两只爬虫机器人》一文中所介绍的模拟爬虫机器人，仍然是4足的结构。增加的一只电机安置在机器人的腰部，称为扭腰电机，用途是改善机器人的步态，结构见图1。

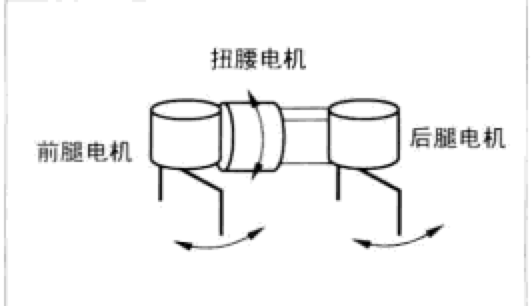


图1 由3只电机驱动的4足BEAM爬虫机器人

表1 6足Hexapod步态方案1

左前左后	顺	停	逆	停	顺	停
中间	顺	顺	逆	逆	顺	顺
右前右后	停	逆	停	顺	停	逆

表2 6足Hexapod步态方案2

左前左后	顺	顺	逆	逆	顺	顺
中间	顺	停	逆	停	顺	停
右前右后	逆	顺	顺	逆	逆	顺

制作6足机器人的骨架

1 以下是给机器人骨架准备的全部材料。铝棒的截面为3mm×7mm，用来制作腿部；1mm厚的5052铝合金板用来制作主体。这次使用了3只高品质的减速电机，电压6V时，转速约为20r/min。

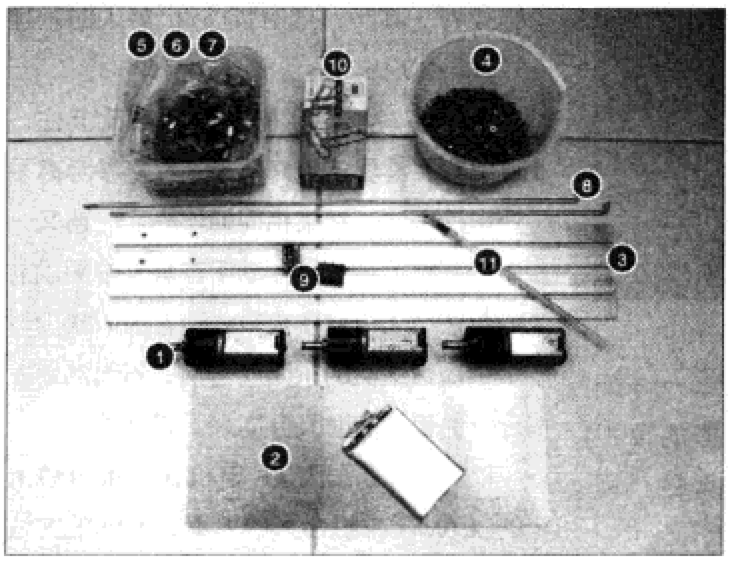
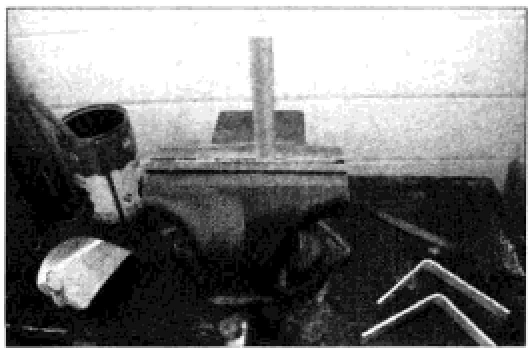


表3 制作所需材料

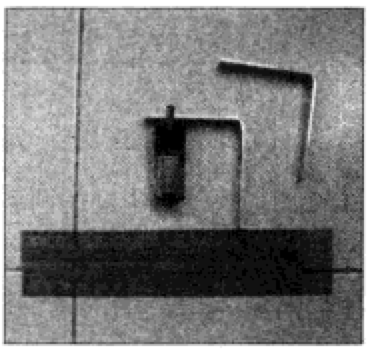
名称	数量
❶ 减速电机	3只
❷ 铝板	1片
❸ 铝棒	4根
❹ M2螺丝、螺母	适量
❺ M3螺丝、螺母	4套
❻ M3尼龙垫片	适量
❼ M3锁紧螺母	2个
❽ 车条	2根
❾ 压线端子排	4位
❿ 曲别针	3只
⓫ 圆珠笔芯	1根

2 首先给铝棒打孔，加工机器人的腿部。固定电机的轴销需要打M1的通孔，连杆部分打M2.2的孔，为了减少误差，这部分工作需要使用台钻来完成。

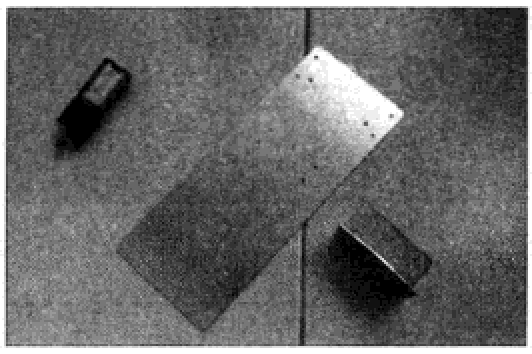
3 腿部的固定孔打好以后，就是考验技术的折弯工序了。使用台钳固定住有孔的那一侧，折弯时用力要慢，并注意铝棒拐角的部分要留出一定余量。



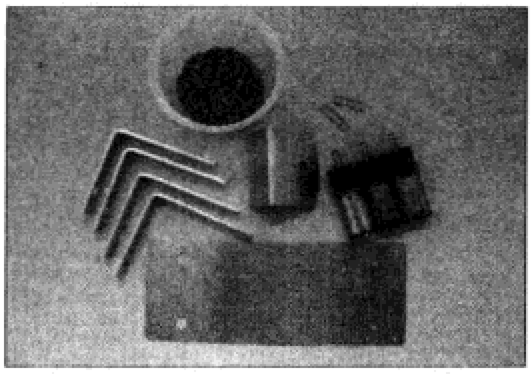
4 制作好的左后腿和右后腿，这两条腿是靠电机直接驱动的，需要把电机的输出轴固定在它们上面。注意腿部和地面（尺子所示的水平线）需要预留好一定高度，防止电机底部蹭到地面。



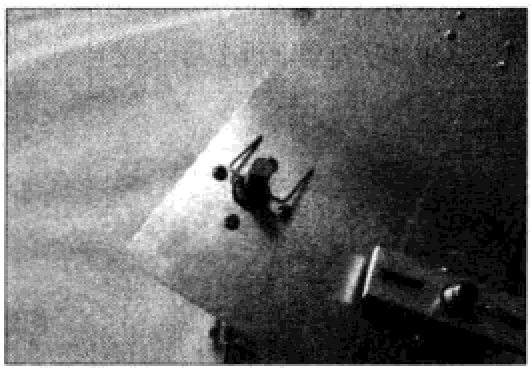
5 用5052铝板制作好机器人的主体。图中右下侧的L型材料用来固定机器人的腰部电机，机器人中间的两条腿靠这只电机驱动。



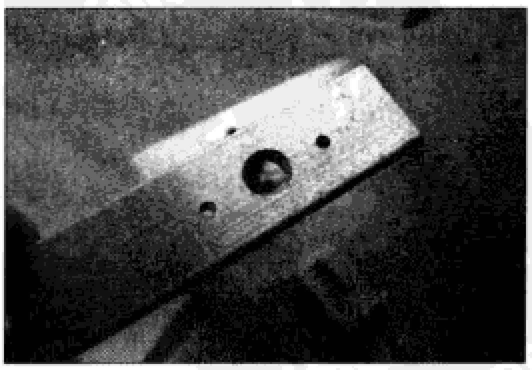
6 开始进行骨架的组装。注意，此时机器人中间的两条腿还没有加工出来，这个步骤先不急，下文会详细说明。



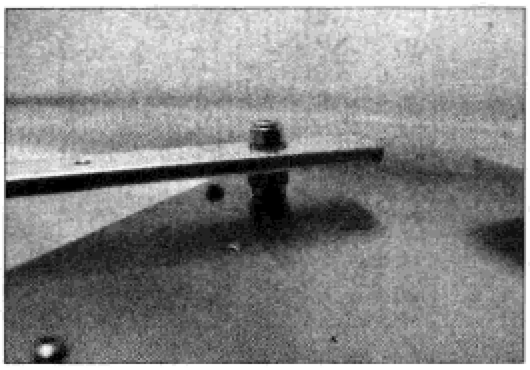
7 首先是固定左后腿和右后腿。将曲别针弯成U字框作为轴销，把左后和右后两只减速电机与机器人主体固定好。



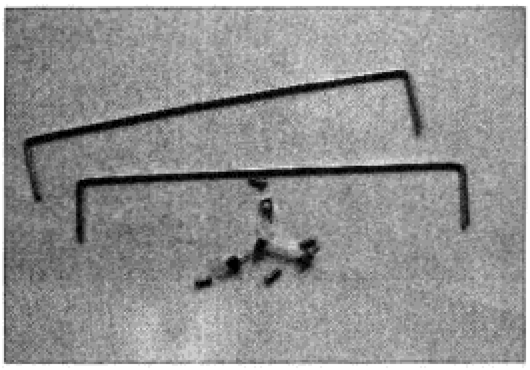
8 左后腿固定孔特写，中间的大孔用来穿过电机输出轴，两个小孔用来穿过曲别针做的轴销。在打孔的时候，我考虑到材料重复利用的问题，这3个孔间距也适用于固定标准舵机的摇臂或者舵盘，方便以后升级。



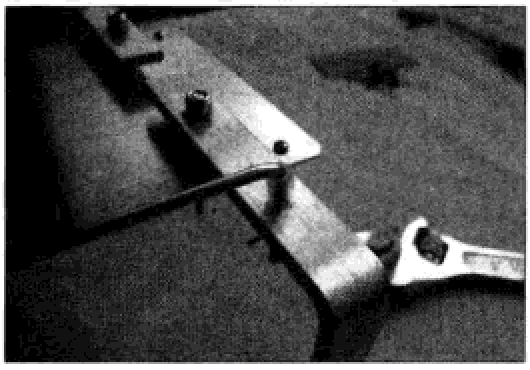
9 左前腿、右前腿为从动腿，它们将靠左后腿和右后腿与之相连的连杆推拉进行运动。使用M3螺丝、垫片和锁紧螺母固定好这两只腿的轴孔，确保它们与机器人主体之间活动自如。



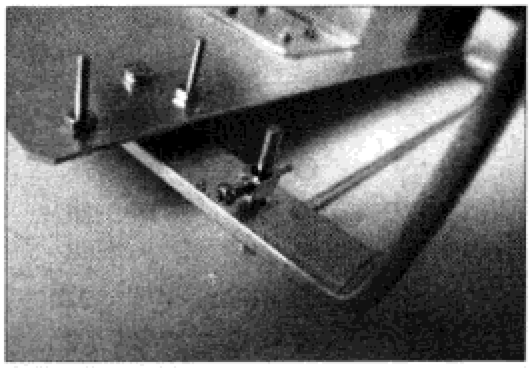
10 测量好左前腿与左后腿、右前腿与右后腿之间的距离，用车条弯制一对倒U字型的连杆。把圆珠笔芯切成4小段，另外从压线端子排里面拆出4套铜芯待用。



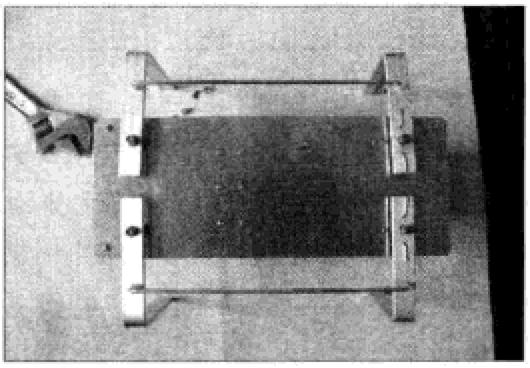
11 用车条连接好机器人的两侧的左前-左后、右前-右后4条腿。将圆珠笔芯切成的小段，垫在车条与腿部的连接孔之间，以减少摩擦。



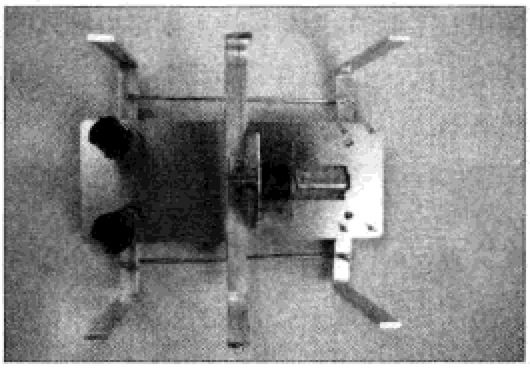
12 使用从端子排里面拆出的铜芯，以压接的方式，固定在车条的末端，防止连杆在运动时脱出。



13 机器人两侧连杆装配完毕的顶视图。看着这只已经完成了一多半的小怪兽，感觉还不错。



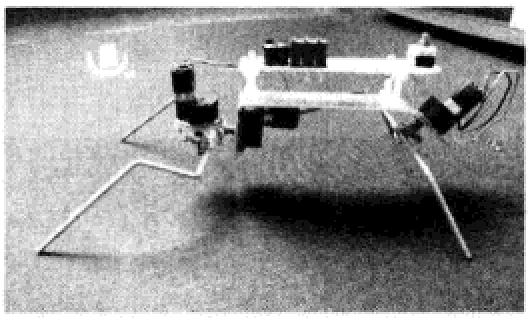
14 加工机器人中间的两条腿，即左中腿和右中腿。这两条腿是一体的，由腰部电机驱动，使用一根铝条制作而成。腿部与电机输出轴的固定方式与另外两只电机相同，通过腿上安装的L型铝架，与腰部电机的输出轴固定好。

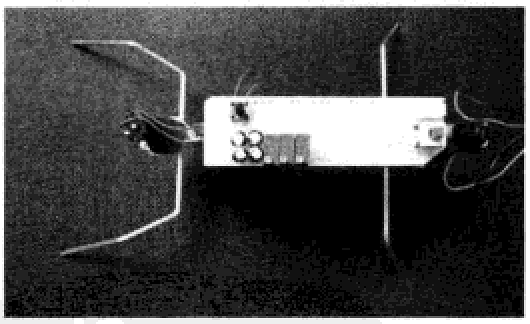


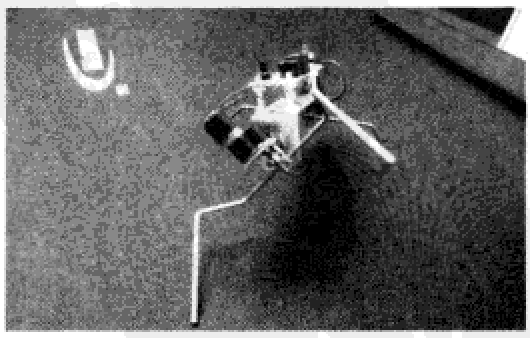
至此，机器人的骨架就制作好了。读者可以发现，这部分的金工工作比我以前制作的机器人繁琐了不少，且对材料的强度、钻孔的精度、材料之间的配合都比以前严格了，还需要自制一些高精度的小结构件。其实，这时候DIY机器人的乐趣才真正体现出来。

很多时候你会被一个小细节卡住，可能需要冥思苦想好几天，反复参考高手处理的手法，搜集相同的作品，一遍又一遍地在纸上画草稿，动手试验，推翻以前的想法，才能继续前行；也会因为缺少一个小垫片这类的东西而苦恼，当偶然地发现一件替代品时又会高兴上好几天。

下面3张图为3只电机在一条直线上的BEAM爬虫机器人的方案，制作的方法类似上期《基于不同控制理念的两只爬虫机器人》一文中的那只模拟爬虫，结构上只是增加了一只扭腰电机。







制作6足机器人的电子部分

下面的工作是给这只金属小怪兽打造一只还不算太坏的大脑，使它可以像真正的昆虫那样进行爬行、拐弯和后退等运动。

首先要给3只减速电机制作驱动电路。常见的微型机器人（不论是数字机器人还是模拟机器人）电机驱动电路无外乎3大类解决方案，在这里我也给它们归纳一下，说说我的应用体会。

1. 专用电机驱动芯片

顾名思义，这类芯片是专门设计用于驱动电机的，接口特性好，驱动能力强。但是它们也有局限，比如常见的L293，需要最低4.5V的电压，这就意味着机器人无法使用单块3.7V锂电池供电。再比如L298，手册要求电机驱动电压要比逻辑控制电压高出2.5V，且芯片在低压工作时效率很低。这些因素导致了在具体的设计中，不得不迁就于芯片的技术手册，这是我不希望面对的问题。

2. 74HC24×系列总线驱动芯片

这类芯片是BEAM机器人的最爱，以74HC240和74HC245为代表。它们的优点是适用于低压（CMOS芯片一般为2~6V），通道数量多，可通过芯片叠加扩流，同时提供给多只电机等，并且这类芯片都带有使能端，应用非常灵活。缺点是单通道电流太小，无法驱动高电压、大功率的电机。多片叠加虽然可以获得比较大的电流输出，但是成本也升高了。

3. 分立元件构成的H桥

这类桥由晶体管构成，作用和电机驱动芯片一样，可以控制电机的正反转、PWM调速等，需要外加逻辑电路来实现使能等功能。优点是设计非常灵活，可以根据所需电流、电压选用管子，桥的运行效率高，一般可达90%。缺点是元件比较多，增加了制作难度。

根据我业余制作多部微型机器人的经验，综合考虑各方面因素，我把它们从好到坏排了一个名次：3>2>1。以上仅代表个人观点，欢迎持不同意见者探讨。

这次制作这只仿生昆虫，我没有使用过去常用的74HC245，而是选择了分立元件构成的H桥。这里面有两个原因：一是我库存的74HC245不够了（简单估算，这只昆虫的3只电机将需要最少3片74HC245），另一个原因是我很有兴趣尝试一下分立桥的效果，3只电机将要由18只晶体管构成3个H桥来驱动，这么多管子焊在板子上一定会很壮观。

我选用了BEAM机器人经常采用的一个H桥电路，这是由BEAM机器人的发明者Mark W. Tilden在1997年设计的，电路图如图2所示。

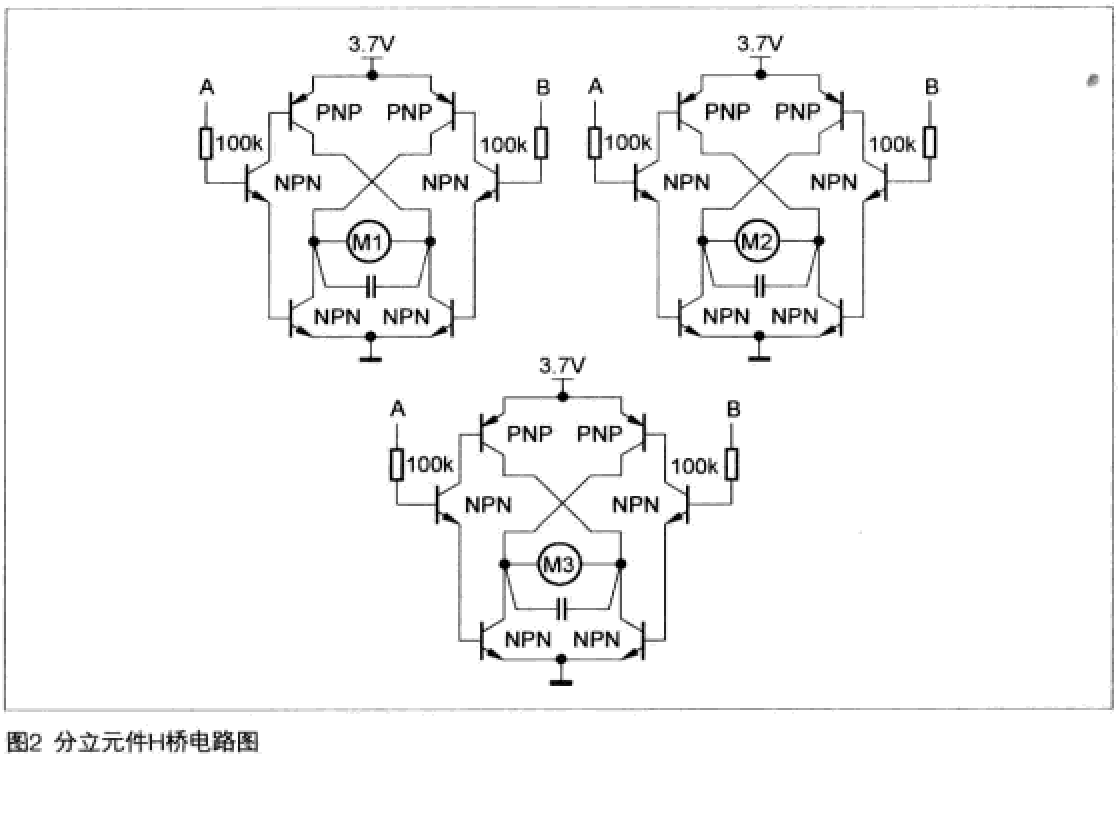
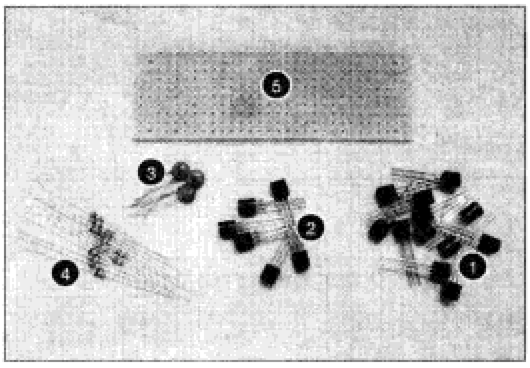


图2 分立元件H桥电路图

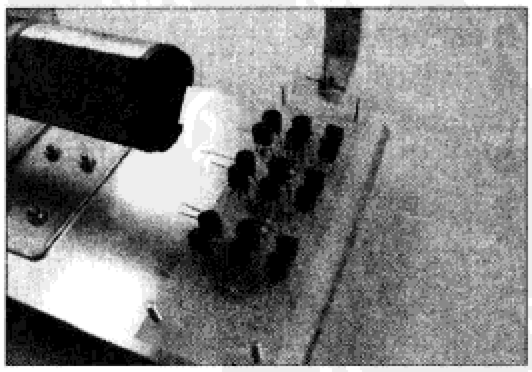
表4 H桥元件清单

型号	数量
❶ NPN通用三极管	12只
❷ PNP通用三极管	6只
❸ 0.1μF磁片电容	3只
❹ 100kΩ电阻	6只
❺ 洞洞板	1片

1 3个分立H桥所需的全部元件。由于我没有100kΩ的电阻，只得使用47kΩ的电阻串联构成。

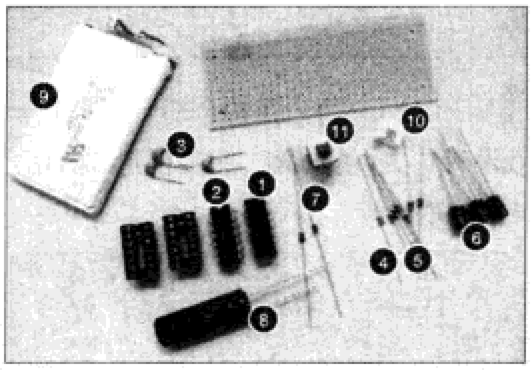


2 焊接完毕的电机驱动板，板子上包括了3路H桥。3只0.1μF的磁片电容将直接焊接在电机上。

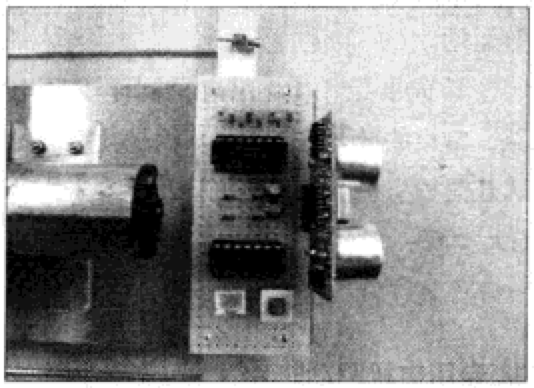


下面开始制作机器人的控制电路。仿生昆虫的控制电路如图3所示，这是一个超经典的HEXAPOD机器人控制电路，在BEAM机器人的YAHOO GROUP讨论组里经过多次讨论改进，现在的这个电路是Bruce Robinson在2001年最后修订的版本。

3 控制电路的所有元件，从阻容元件的数值上看，和前几篇机器人所用的类似，芯片也没什么变化。这些常用规格的电阻、电容、芯片，在以后的制作中会经常用到，建议喜欢制作BEAM机器人的爱好者多买一些备用。74HC系列芯片可以很好地工作在3.7V电压下，容量适中的锂电池也可以买一些备用。



4 因为电路比较简单，焊接过程就不细说了。图中为焊接好的控制板，固定在电机驱动板之上。机器人的左转、右转和后退3路传感器输入均为零电平有效，可以借鉴以前介绍的机器人的接触式传感器的做法，使用铜丝或者钢丝外套接地铜管作为传感器。为了增加乐趣，这里我使用了一只超声波传感器做机器人的非接触式后退控制（市售的超声波传感器一般都有开关量输出端，可以直接搭配这个电路）。读者也可以使用其他类型的传感器，比如红外线传感器等，还可以把它改造成遥控的。改变阻容元件的数值，可以改变机器人转弯和后退的时间。



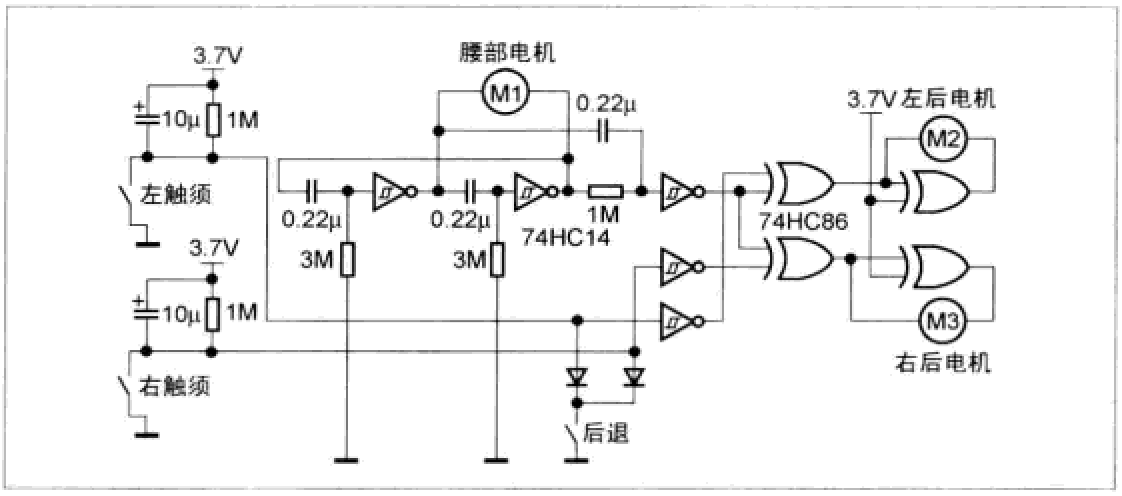


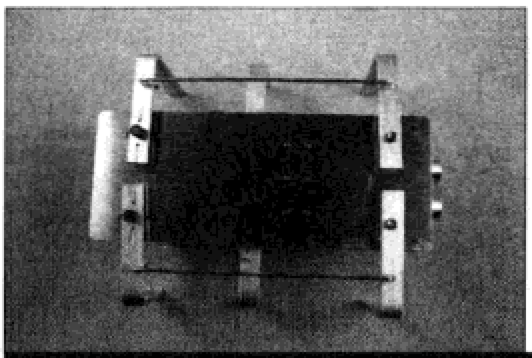
图3 经典的HEXAPOD机器人控制电路（3只电机均需要搭配电机驱动电路）

表5 控制电路和电源的元件清单

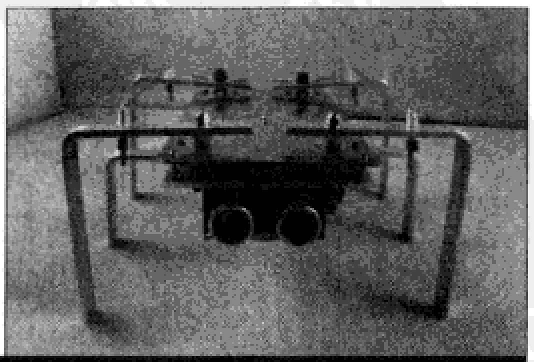
型号	数量
❶ 74HC14	1片
❷ 74HC86	1片
❸ 0.22μF独石电容	3只
❹ 3MΩ电阻	2只
❺ 1MΩ电阻	3只
❻ 10μF电解电容	2只
❼ 1N4148	2只
❽ 2200μF电解电容	1只
❾ 3.7V/1600mAh锂电池	1只
❿ 2针插座（充电口）	1只
⓫ 小开关	1只
⓬ 导线	适量

总装调试

这个昆虫机器人组装完毕以后，几乎不需要做什么调试就可以运行。关键是要保证骨架的精度，否则每个地方都差那么一点，少量的误差积累起来就会产生不容忽视的问题，结果将会对机器人的运转造成很大的影响。有可能需要根据电机参数和供电电压适当调整一下阻容的时间常数，使腿部动作的幅度适中、左右拉杆运动对称。下面两张图片是装配调试完毕的最终效果。



顶视

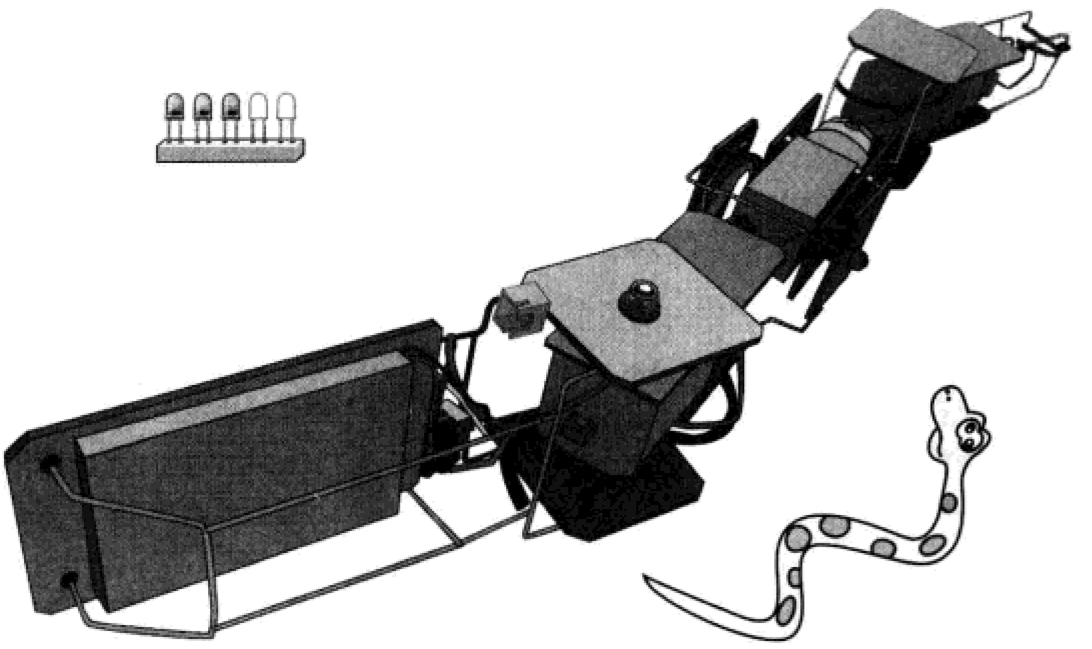


前视

◎臧海波 ◎插画：刘少冉

造价不超过50元的奇妙制作

仿生3电机蛇形机器人



这只蛇形机器人与上一期介绍的6足昆虫机器人类似，同样使用3只电机驱动，制作难度适中。电子部分采用笔者偏好的模拟控制方式，由3组神经元电路以级联的方式构成一个依时序递进的脉冲发生器，使3只电机在H桥的驱动下控制整部机器人做蛇形前进。在第一组神经元上还安置有红外线传感器，使得这只机器蛇可以对可见光或红外线产生反应，具有寻光或者避光的特性。

笔者从今年3月开始写微型机器人制作系列的文章，分享自己在业余条件下制作机器人的一些心得体会和实际的装配方法。在已经过去的大半年中，很高兴收到大量机器人爱好者发来的反馈信息，其中比较集中的问题还是关于机器人结构制作的。对于从电子过渡到机械、电子一体化的爱好者来说，机械部分的制作的确是一个比较大的难题。从电子的角度来说，爱好者现在已经有条件完成板卡级电路板的制作，PCB、SMT、焊台、风枪、锡浆等，再也不会是高不可攀的名词。而从机械角度来说，受成本的限制，我们可以利用的资源仍然很有限。

下面总结一下大多数爱好者在制作机械部分时使用的方法。

■ **完全自己动手。**自己设计，自己购买材料，自己加工。这种方法自由度很大，适合从玩模型转到玩机器人的爱好者。缺点是对制作者的技术要求比较高，配套的加工工具也是一笔不小的开支。

■ **数控机床（CNC）加工。**现在小型雕刻机的价格已经做到普通爱好者也可以承受的范围，借助它可以提高加工的精度和效率，这种方式尤其适合机械专业的爱好者。缺点是设备的投入大，对加工环境要求高。

■ **购买厂家的成品。**在网上可以买到很多机器人“裸机”，比如装备了开发板的机器人小车、机械手、蜘蛛机器人、双足机器人等，还可以买到一些具有独立功能的配套金工件，比如云台、舵机框架等。这种方式简化了金工制作的环节，缺点是自由度低，无法达到个性化设计。

其实，只要把第一种方法灵活运用，合理选择身边的材料，仍然可以达到降低制作难度、提高观赏性的效果。本文中的机器蛇就是一个很好的例子，希望在机械部分的制作上给读者以一些启发。

制作蛇形机器人的骨架

我在开始设计这只蛇形机器人结构部分的时候，计划采用和6足昆虫机器人相同的材料。由1mm厚的5052铝板搭配金属减速电机组成蛇的关节，关节之间使用螺钉和自锁螺母连接，工艺比较复杂。后来在整理房间的时候，我翻出一张颇具历史感的覆铜板，它表面已经氧化得不成样子了，基本就是一张废板。我就开始计划怎么可以把这张板子利用起来，把它化腐朽为神奇。虽然这张覆铜板的铜箔面已经氧化得坑坑洼洼，但是做大面积的线还是可以的，另外覆铜板也有一定的机械强度，可以满足加工成微型机器人骨架的要求。于是，一个使用覆铜板与曲别针组成蛇形机器人结构的“降级”方案就形成了。

使用降级材料组装的蛇形结构，加工非常方便，只需要用到小电钻、锯条，以及其他一些电子爱好者的常用工具。它的另一个优点是造价低，按我的估算，制作这个结构的成本在20元左右，即使加上电子部分，总造价也不会超过50元。

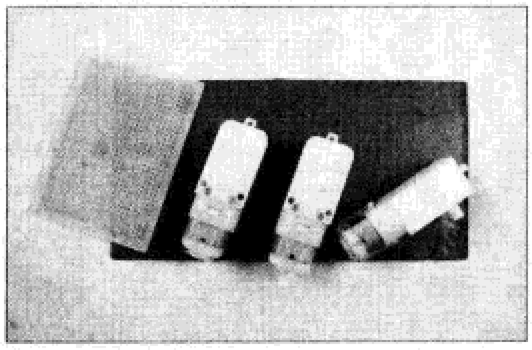
材料虽然降级了，加工与装配过程中的细节却是一点也不能马虎，这也是机器人制作的乐趣所在。

开始制作

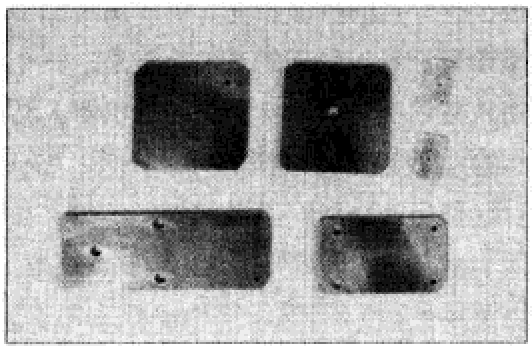
表1 制作所需的材料

名称	规格
覆铜板	1张
减速电机	3只
曲别针	适量
螺丝、螺母、垫圈	适量
铜铆钉	适量
尼龙垫圈	3只

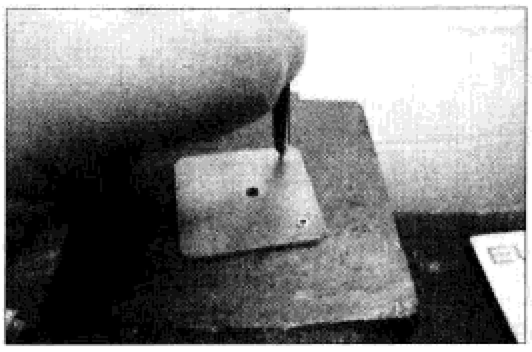
1 构成这只蛇形机器人骨架的主要材料是覆铜板，读者也可以变通一下思路，使用高品质的洞洞板来制作。洞洞板的优点是孔洞排列横纵有序，裁切和对齐比覆铜板方便得多，可以保证一定的精度。



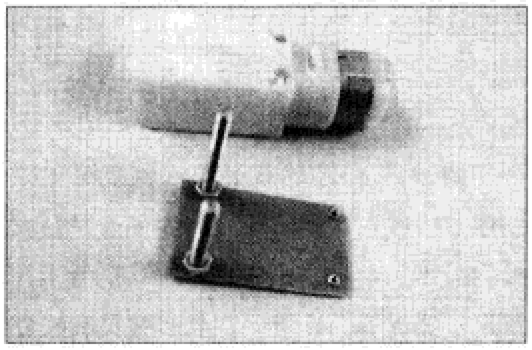
2 把覆铜板裁切成如图所示的4小块，它们的用途是把普通的减速电机改造成一个类似舵机的组件。3只减速电机需要3套这样的材料。两小块洞洞板起到防止电机轴打滑的作用，下文有详细的说明。



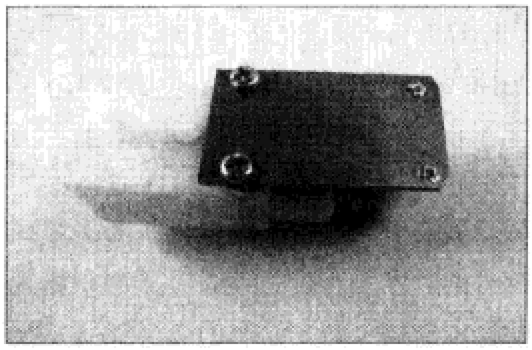
3 蛇体的每段组件之间，使用曲别针焊接连接、铜铆钉加固的方法，提高连接点的机械强度。铆钉穿过覆铜板上预先打好的小孔，再用一只丝锥冲开尾部，敲平，使之与板子紧密结合。为了增加观感，我用去污粉（厨房常用那种）擦去了覆铜板表面的氧化层，并在板子表面涂了一层松香水，起到防止氧化和方便焊接的作用。这几个小零件，除了电机的固定孔以外，其他地方对加工精度没有要求，甚至可以把外形处理得粗犷一些，以增加一种不协调之美。



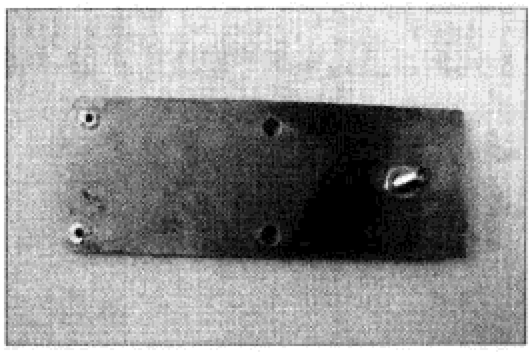
4 电机使用的是平价机器人小车最常用的那种塑料齿轮箱的减速电机，单侧出轴。



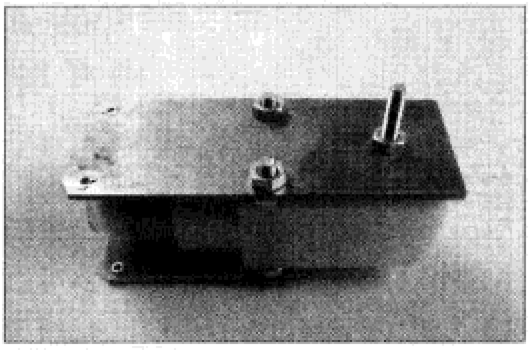
5 减速电机输出轴一侧小板的固定螺丝应该预留足够长度，使之可以贯穿减速电机安装孔，用来在另一侧固定虚位延长板。



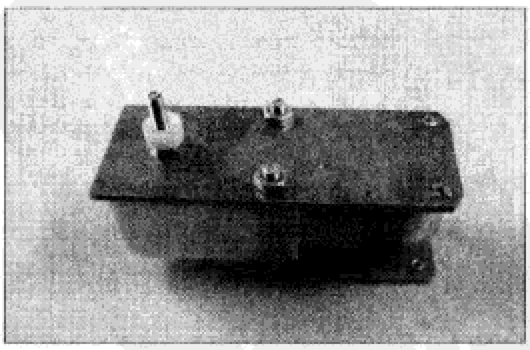
6 虚位延长板右侧预先用螺母固定好一枚螺丝，作为减速电机的虚轴。



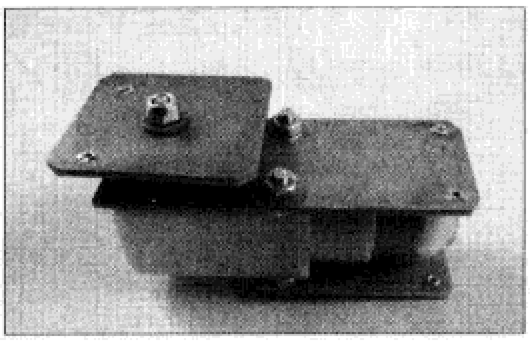
7 这是两片侧板安装就位的样子，电机夹在中间，上面的螺丝为电机虚轴，输出轴位于在与之对称的下侧。



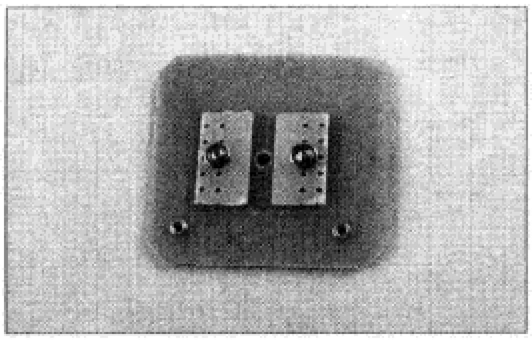
8 开始安装虚轴上的“舵盘”。先在虚轴上套一只尼龙垫圈。垫圈在这里起到两个作用，一个是使舵盘与虚轴之间滑动顺畅，另一个是在舵盘和电机之间留出一个适当的间隙，为电子部分的安装提供空间。



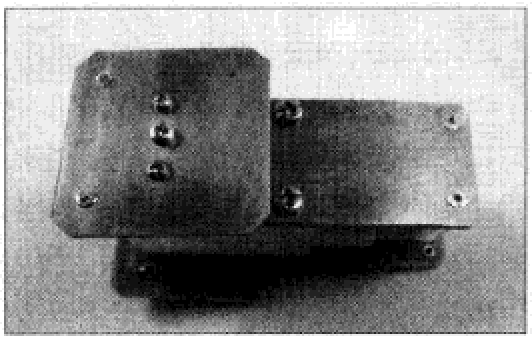
9 这是虚位舵盘安装就位的样子。在舵盘上加一个薄垫片，最后用锁紧螺母固定好。锁紧螺母不要上得太紧，以舵盘可以灵活转动为限。



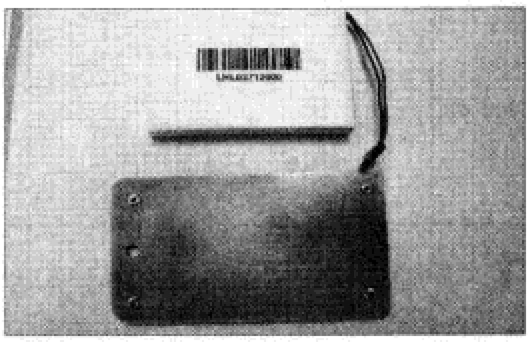
10 安装电机输出轴一侧的舵盘。两片洞洞板预先固定在舵盘的反面，注意事先要计算好间距，使它们之间的平行槽正好可以牢固地卡在电机轴的平面上。



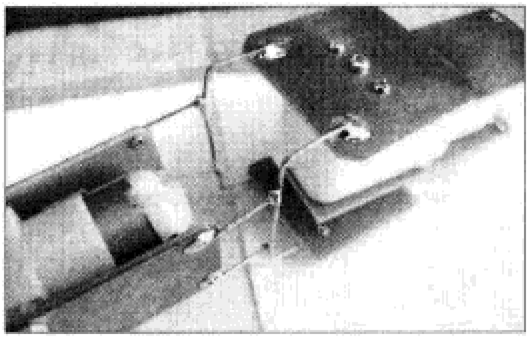
11 在铜箔面用一只自攻螺丝固定好舵盘与主轴。舵盘与轴的结合位置可以适当使用热熔胶固定。



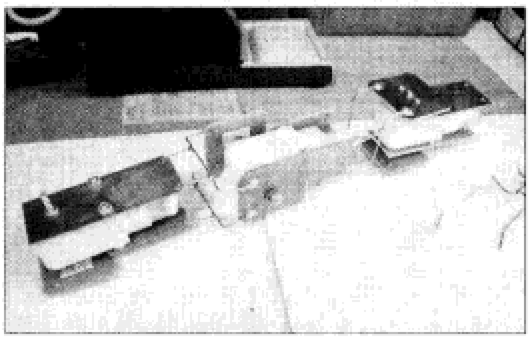
13 机器蛇尾部组件将用来安装蛇的电源部分，结构比较简单，就是一块覆铜板。注意给板子留出适当宽度，使它刚好能容纳下一块锂电池。



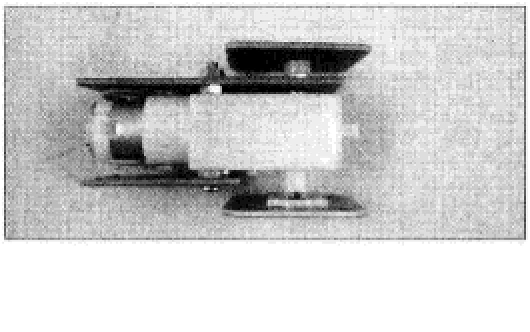
14 用曲别针连接好3个电机组件和蛇尾部分。图为两个电机组件之间的连接方法。



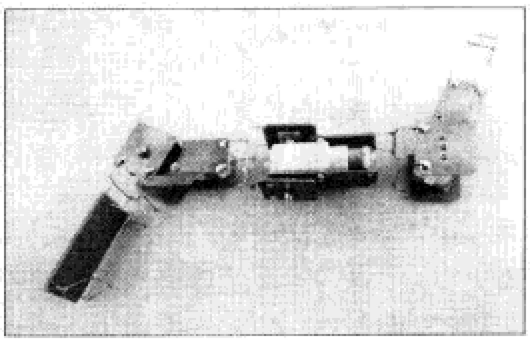
15 注意从蛇头至蛇尾，组件之间的主轴依次相差90°，呈螺旋形排列——有点类似DNA螺旋的模型。这样排列方式可以增加机器蛇的活动能力，使它既可以水平爬行，又可以垂直蠕动。



12 这是装配完毕的电机组件，从侧面可以看出4块覆铜板的相对位置。3只电机使用相同的方式装配好待用。



16 机器蛇的结构部分组装完毕。每个关节之间由曲别针组成的框架相连，框架内部用来装配电子部分，框架也起到保护电子部分的作用。



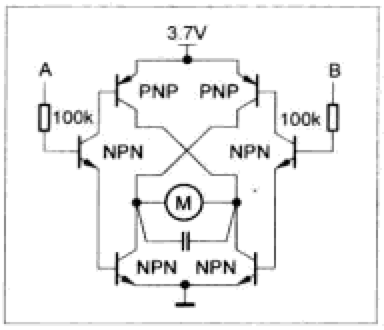
制作机器蛇的电子部分

3只电机的H桥驱动电路如下页左上角的图所示。H桥正反向输入端的2只电阻为三极管的偏置电阻，阻值可以在50kΩ至1MΩ之间选取。阻值越小，H桥对神经元电路吸收的电流越大，机电反馈效果越明显。反映在机械部分，就是蛇关节的组件可以随着运动负荷的轻重自行调节单侧的摆动幅度。经过试验，我使用的是100kΩ的输入电阻。

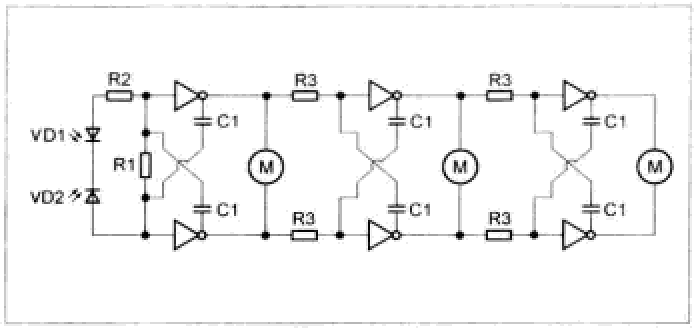
机器蛇的控制电路由3组BICORE神经元电路级联构成。第一级神经元电路的输入端安装有红外线传感器，两只红外线二极管可以感知光线的方向，使其可以控制机器蛇头部第一只关节组件的摆动方向，变换红外线二极管的安装位置，可以控制机器蛇做寻光或者避光爬行。

神经元级联的妙处是可以把第一级的信号递进发送至下一级，电路中第二、三级神经元通过电阻R3与上一级相关联，前一级神经元的微小变化可以传递到下一级。举例说明，蛇头部感应到光线的变化或者负荷发生变化，这个信息将会经由第一关节组件、第二关节组件、第三关节组件一直传递至蛇尾，呈现出类似大自然中蛇类的神经反射效果。

R2和R1为神经元输入端的补偿电阻，配合红外线二极管工作。它们的作用



单个电机的H桥驱动电路



3电机机器蛇的控制电路

表2 H桥驱动电路元件清单

型号	数量
小型NPN三极管	12只
小型PNP三极管	6只
0.1μF磁片电容	3只
100kΩ电阻	6只

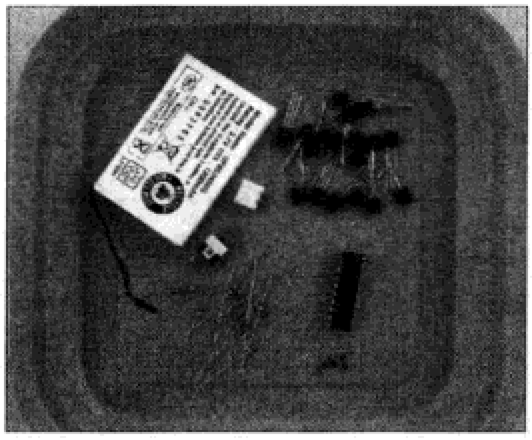
表3 控制电路元件清单

编号	规格	数量
反相器	74HC240	1片
R1	3.3MΩ电阻	1只
R2	100kΩ电阻	1只
R3	2.2MΩ电阻	4只
C1	0.22μF无极电容	6只
电源	3.7V锂电池	1块
其他	小开关、导线	适量

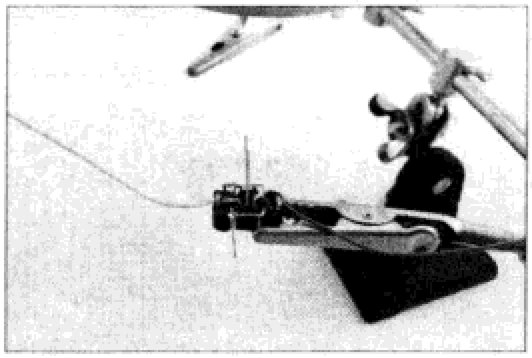
是抑制蛇在黑暗（相当于两只红外线二极管开路）或者高光（相当于BICORE单向短路）环境下的停摆或者高频振荡。电路中的阻容数值可能需要根据机械部分的实际运转情形稍微调整。

首先制作3只电机的驱动电路。考虑到机器蛇装配起来以后的重量比较大，整条蛇在爬行时落到每只电机上的负荷也会比较大。我在驱动电路的选择上延续了上期介绍的6足昆虫机器人的驱动思路，使用6只晶体管组成H桥电路来控制电机的正反转。最后的运行结果证明H桥驱动的效果非常好，蛇关节的运动比较有力。如果使用74HC245这类BEAM机器人常用的驱动芯片，则会出现关节摆动幅度变小，关机负荷加重时速度跌落过快的结果，好像这只机器蛇得了“软骨病”。

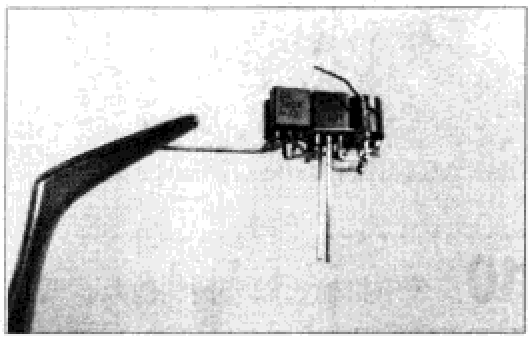
1 以下是电子部分的全部元件。在这只机器蛇的电路制作中，为了追求美观，全部电路单元均使用缠绕焊的手法组成独立的模块，没有准备常用的洞洞板。其实曲别针的框架已经留有足够的空间安装小型电路板，读者在仿做的时候可以酌情使用自己擅长的装配工艺。此外，蛇关节组件外层的覆铜板也可以用来焊接简单的电路单元。



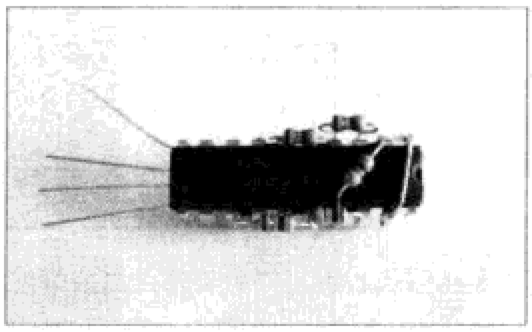
2 借助放大镜架子，固定焊接好H桥驱动模块。因为H桥电路比较简单，只要将6只三极管的布局规划好，将18只引脚朝上，在引脚上搭棚焊接好相关节点就可以了。



3 图为弯头镊子夹起的一只采用缠绕焊工艺制作完毕的H桥驱动模块，整体非常小巧紧凑。H桥输入端的电阻没有焊上，电阻可以同H桥焊接在一起，也可以串接在从机器人头部控制部分贯穿至H桥输入端的电缆之间。需要给机器蛇的3个电机组件制作3只同样的模块。



4 采用缠绕焊工艺制作的控制模块。注意要把74HC240的第1脚和19脚接低电平（电源地），使芯片使能。

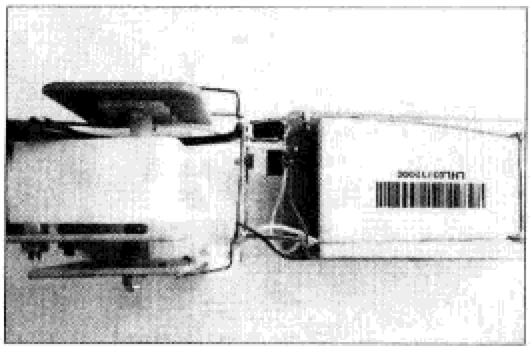


5 控制模块的底部。C1选用的是6只0805封装的无极电容，这样可以直接把电容塞在芯片引脚根部的夹缝里。注意74HC240内部有8只反相器，需要把用不到的2只反相器输入端接至低电平，防止干扰。

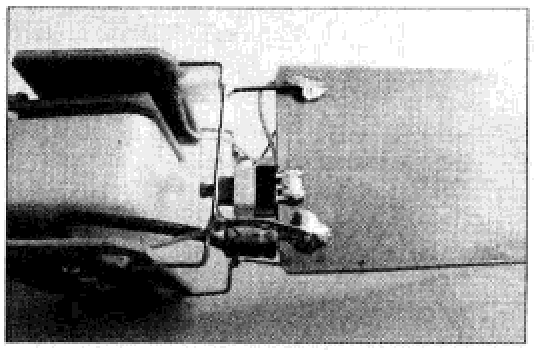
总装过程

机器蛇的总装是一件相当花心思的工作，控制部分安装在蛇头，电源安装在蛇尾，从蛇头至蛇尾有一组贯穿电缆，用来给各个单元电路提供动力和控制信号。要保证电子部分与机械部分结合牢固，还要保证各个关节之间的电缆不会影响到舵盘的灵活运转。

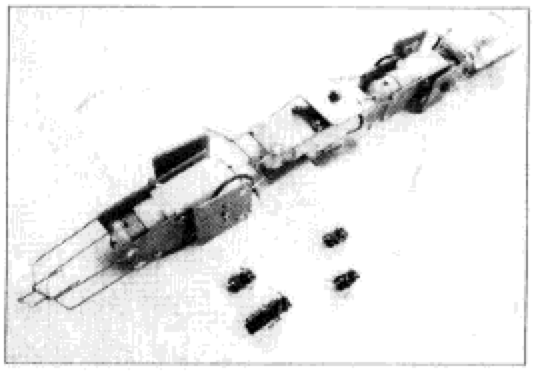
1 首先安装蛇尾的电源部分。用双面胶带把锂电池固定在尾部的框架之中。使用一根粗导线（图中蓝色导线），由尾部至头部，连接好各个关节之间的铜箔，作为整条蛇的电源地。舵盘与电机之间的间隙，用来安置这根导线，注意在关节活动的地方给导线留出一定余量，使它不会限制到关节摆动的幅度。



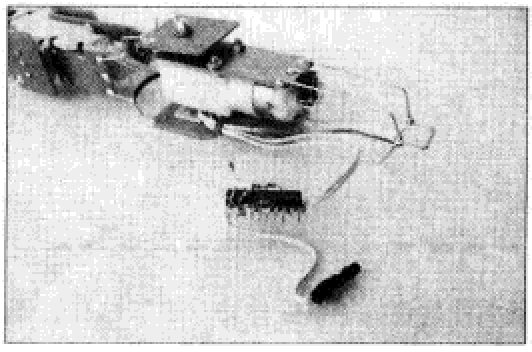
2 在尾部组件与第三关节之间的框架中，安装好电源开关和充电插座。一只小型双刀开关直接“骑”在覆铜板边沿，把用不到的一侧焊接在铜箔面。读者也可以使用洞洞板等自己擅长的安装方式。



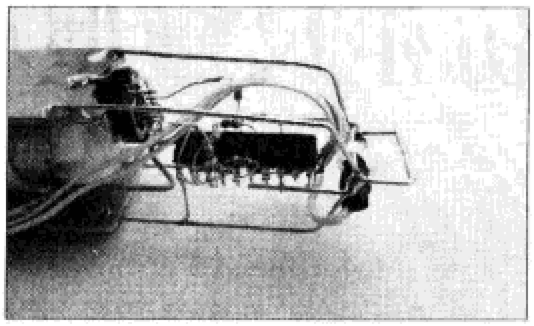
3 机器蛇控制模块、3只H桥驱动模块准备完毕，开始最后的总装。



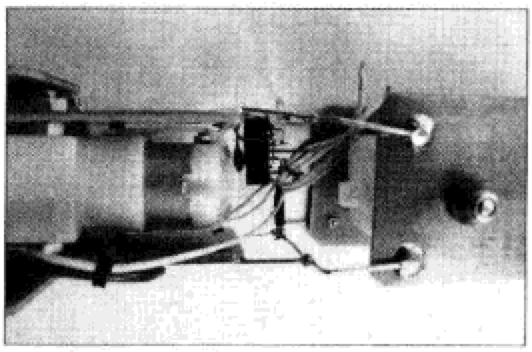
4 这是蛇头部控制模块的配线，右下角黑色部分为用两只红外线二极管制作的蛇眼组件。



5 这是装配好的蛇头部分，控制模块安装在由曲别针搭成的框架之内。蛇嘴的矩形框架用来安装和保护红外线二极管。

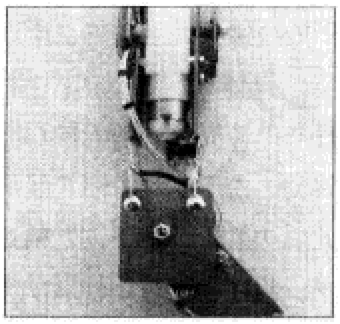


6 把3只H桥驱动模块贴着电机尾部安装好。H桥的电源地可以就近搭焊在覆铜板的铜箔面。



7 关节组件的配线示意图。我把废电脑硬盘的IDE排线劈开，作为小信号电缆。安装和连接好各个单元电路以后，先要确保各个关节摆动灵活，电缆留够余量。最后找一根网线，抽芯，切成小段，把电缆捆在一起。

至此，蛇形机器人就装配完毕了。



运行效果

神经元电路的级联控制使得这只机器蛇的运行姿态非常酷，我认为如果再增加几级关节，效果还可以更好。通过试验我还发现，调节神经元电路之间级联电阻的阻值，可以改变前后级之间的控制相位，而随着级联数的增加，也会产生相位的畸变。我还有一个简单的升级设想：可以在第一神经元输出与第二神经元输入之间插入反向逻辑，当这个反向逻辑被触发时，第二关节的相位将发生反转，这个信息也将依次传递至后续的关节。因为第二关节被设计成在结构上是垂直运动，由此可以带动蛇做拐弯或后退运转。反向逻辑可以由阻容元件和反相器构成，用细钢丝做成接触式传感器安装在蛇嘴部位，模仿生物蛇类的“信子”。

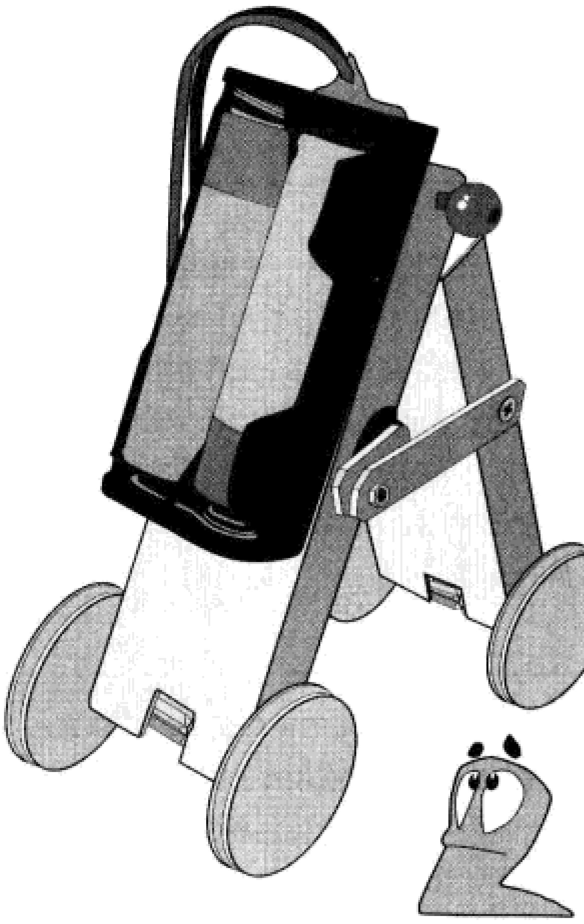
蛇形机器人的动作视频已经上传至我的优酷空间，欢迎观赏。

演示视频：
http://u.youku.com/user_show/uid_digi01

◎Plenilune　◎插画：刘少冉

PVC-Robot 18号：叠行者

仿生尺蠖型小车



本期要向大家介绍的PVC-Robot有着奇特的行动方式，它能模仿被称为尺蠖的小虫的爬行方式。尺蠖这个名字可能有点生僻，很多人可能未必对得上号，但是如果说弓身爬行的小虫，大家应该都会知道，也就是那种把身体曲成弓形后，再伸展开来爬行的小虫。孔子所说的“尺蠖之曲，在于伸也”，也就是指的这种小虫。按照惯例，我们再给本项目机器人起一个外号，由于它主要是依靠身体的不断折叠来行进的，文绉绉一点，就叫“叠行者”。

演示视频地址：http://v.youku.com/v_show/id_XMzAyNTc5NjE2.html

基本原理

1．运动方式

这款机器人是靠曲柄连杆对两个躯干的拉伸实现运动的，原理如图1所示。

具体实现过程如图2所示：当曲柄连杆向外伸展时，前轮向后转动，后轮向前转动，由于制动片阻止了后轮的转动，因此后边躯干保持不动，前边躯干伸展出去了。当曲柄连杆由伸展状态变为拉缩状态时，前轮向前转动，后轮向后转动，由于制动片阻止了前轮的转动，因此后边躯干收缩回来，小车完成了一个步长的移动。随着曲柄连杆的往复转动，小车也重复着上述的运动。

2．驱动机理

“叠行者”两组轮子的转动方式是一样的，以下以其中一组轮子的转动为例进行讲解，如图3所示。

由于小车的轮子和齿轮是一体的，因此，轮子的转动即是齿轮的转动。为了便于说明问题，此处只展示齿轮而略掉了轮子。

当齿轮向后转动时，齿轮带动制动片向前弯曲，由于制动片较软，且前边没有受到阻力，因此，齿轮可以连续向后转动。当齿轮向前转动时，齿轮试图带动制动片向后弯曲，由于小车躯干阻挡了制动片的弯曲，因此，齿轮无法向前转动。

3．电路原理

“叠行者”的电路原理非常简单，就是直接用一组电池连接一个电机，中间通过一个拨动开关来控制电路的通断，焊接方法如图4所示。

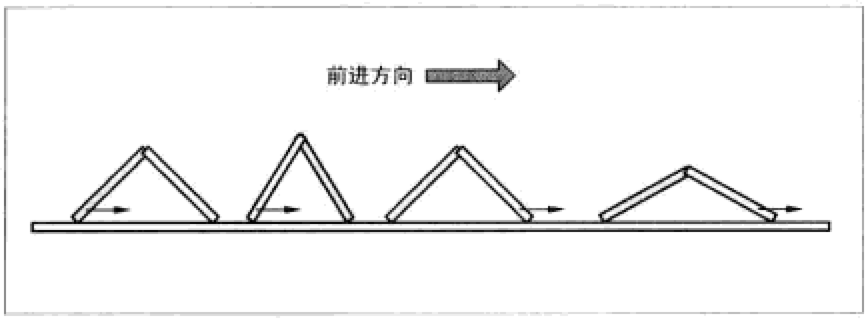


图1 “叠行者”的运动方式

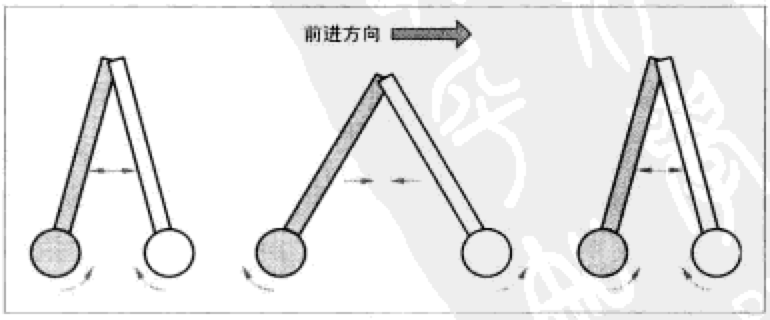


图2 弓身爬行运动的具体实现方法

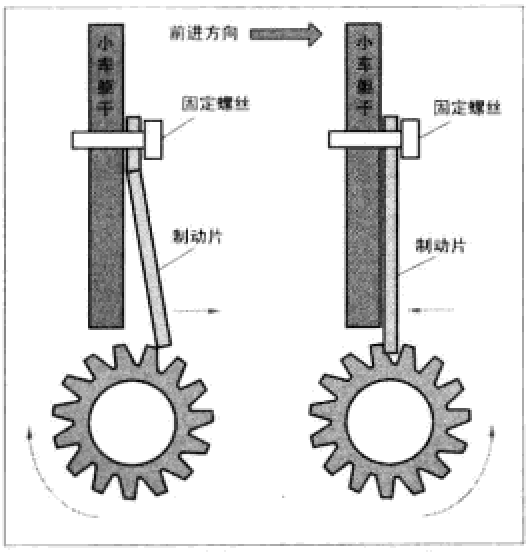


图3 制动片的作用原理

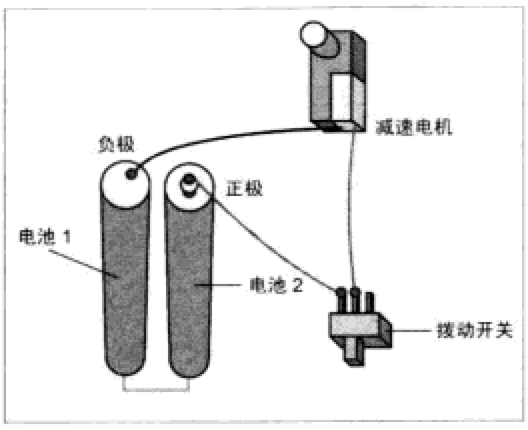
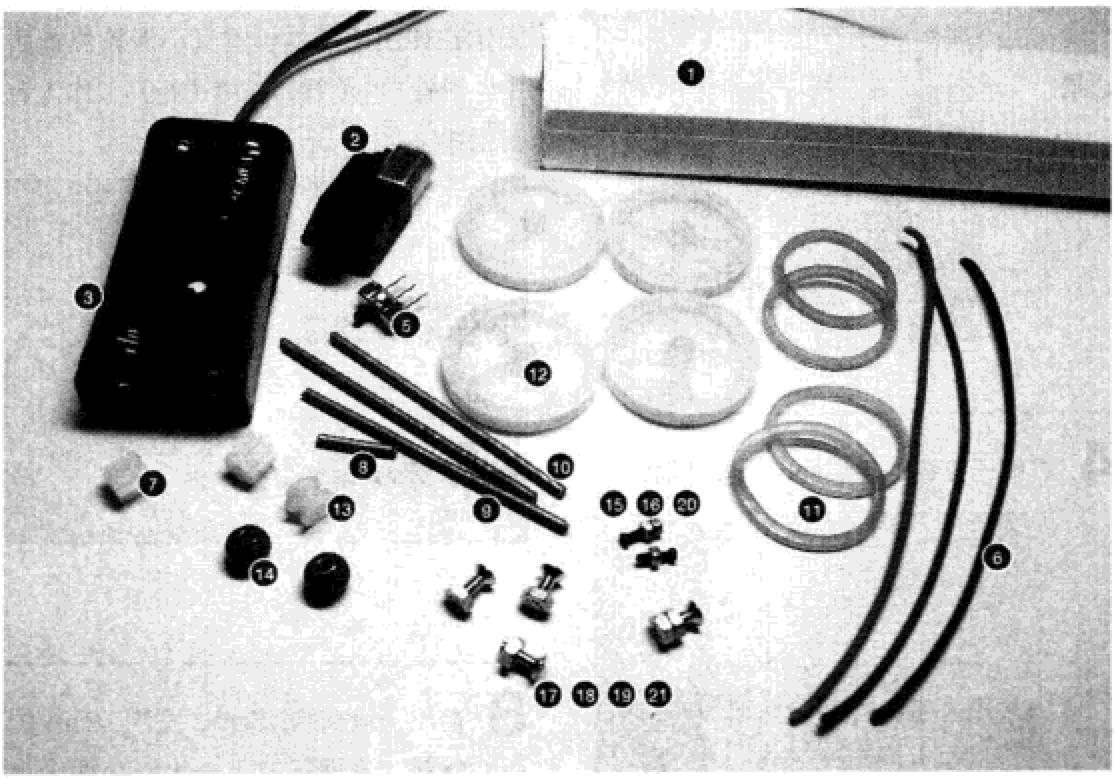


图4 电路焊接示意图

准备工作

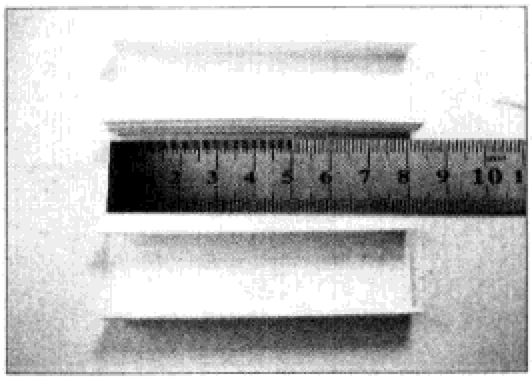


所需材料

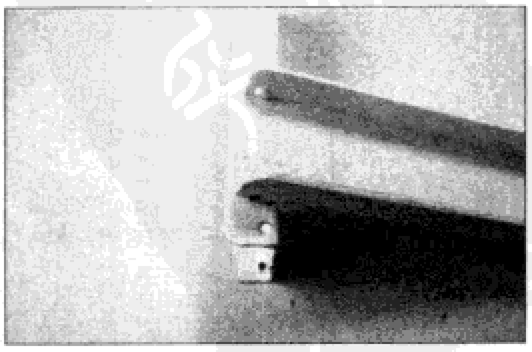
名称	规格	数量	用途
❶ PVC线槽	宽2.5cm	若干	主要结构材料
❷ 小电机	带齿轮减速箱的微型电机	1个	动力
❸ 电池盒	7号电池盒（2节）	1个	电源
❹ 电池	7号	2节	电源
❺ 拨动开关	小拨动开关	1个	电源开关
❻ 导线	红/黑/绿	若干	电路连接
❼ 齿轮	孔径1.9mm	2个	车轴齿轮
❽ 短轴	铁制，长1.2cm，直径1.8mm	1个	减速电机转轴
❾ 长轴	铁制，长4.5cm，直径1.8mm	2个	车轴
❿ 长轴	铁制，长4.5cm，直径1.8mm	1个	合页轴杆
⓫ 橡皮圈	直径15mm	4个	车轮外胎
⓬ 大滑轮	皮带滑轮，直径24mm	4个	车轮
⓭ 小滑轮	小皮带滑轮	1个	合页轴连接
⓮ 小圆珠	塑料圆珠子	2个	合页轴套
⓯ M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	1对	固定减速电机
⓰ M1.2×5螺丝	直径1.2mm，长5mm	1对	连杆铰链
⓱ M2×6螺丝	直径2mm，长6mm	1对	连杆轴
⓲ M2×6螺丝	直径2mm，长6mm	2对	固定齿轮限位杆
⓳ M2×6螺丝	直径2mm，长6mm，平头	1对	固定电池盒
⓴ M1.2螺母	孔径2mm	1个	固定连杆铰链
㉑ M2螺母	孔径2mm	1个	固定连杆轴

制作过程

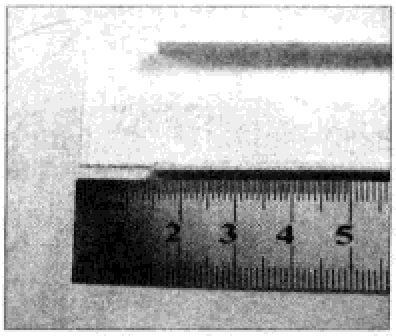
1 裁出两段PVC材料作为小车的躯干，长约8cm。



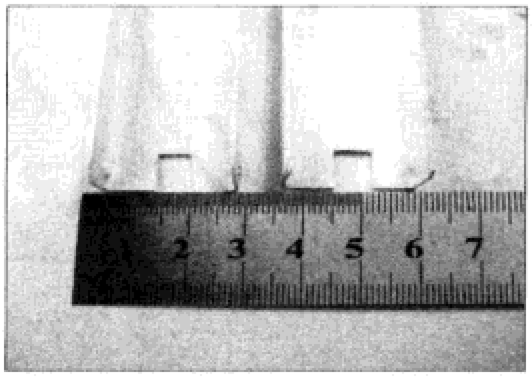
2 将两段躯干边缘剪去，4个边缘适当倒角。选择躯干其中一端，在靠近边缘处打上小孔，用于固定小车车轮的轴。



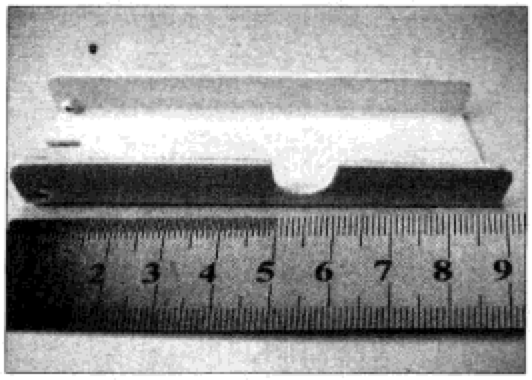
3 选择其中一段躯干，剪掉一段长约1.5cm的边槽。



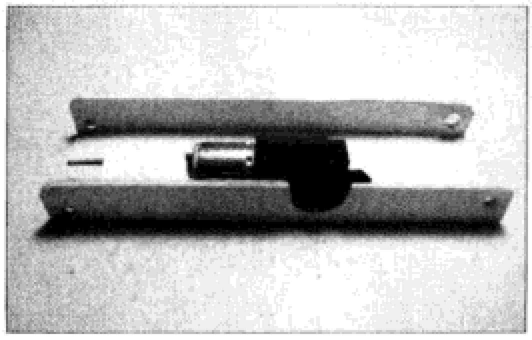
4 在躯干打孔的一端剪出一段凹槽。



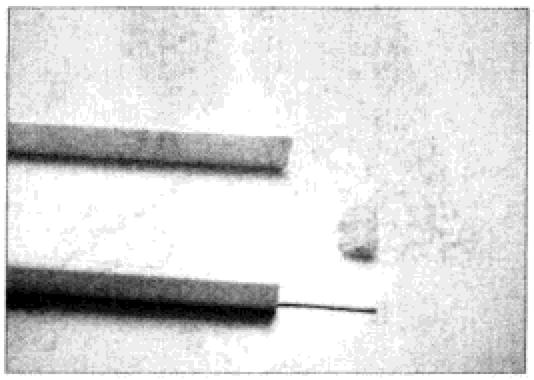
5 选择未剪掉边槽的那段躯干，在其边槽上挖出一个半圆形缺口。



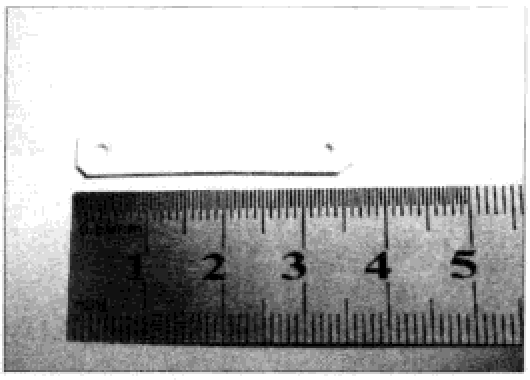
6 在该段躯干另一端也打上小孔，用于固定连接两段躯干的轴。用502胶水将减速电机固定于半圆形缺口处。



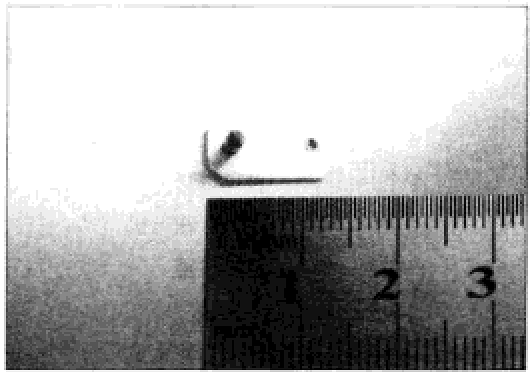
7 将小滑轮磨掉一个切边，用502胶水固定在如图所示的位置（小滑轮位置居中，滑轮与PVC材料边缘平行），作为合页轴连接件。



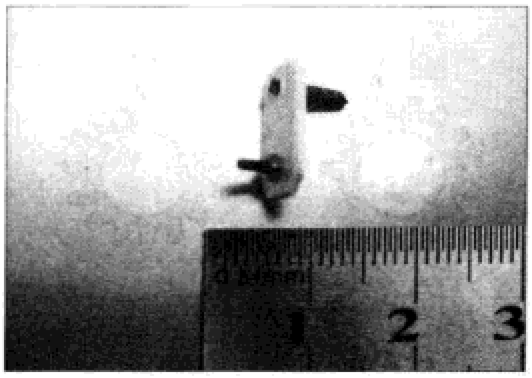
8 剪出一段长约3.5cm，宽约0.8cm 的PVC材料，在两头打上一大一小两个小孔，作为连杆。



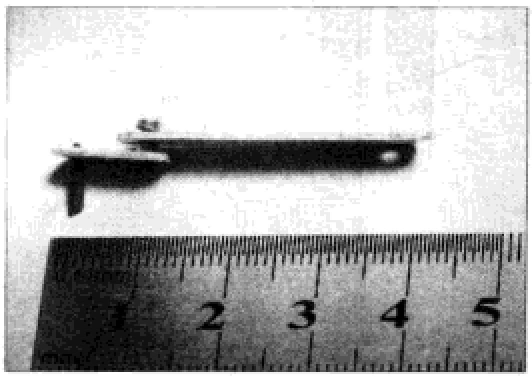
9 剪出一段长约1.2cm，宽约0.8cm 的PVC材料，在两端打上一大一小两个小孔，作为曲柄。



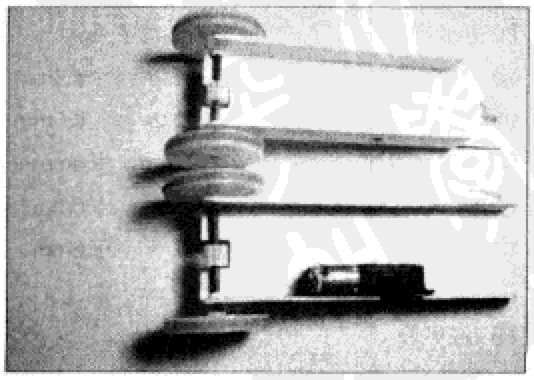
10 用502胶水将一段长约0.8cm的轴固定在曲柄大孔的位置上。注意，轴要与曲柄平面垂直。在曲柄小孔处套上一组M1.2的螺丝、螺母。



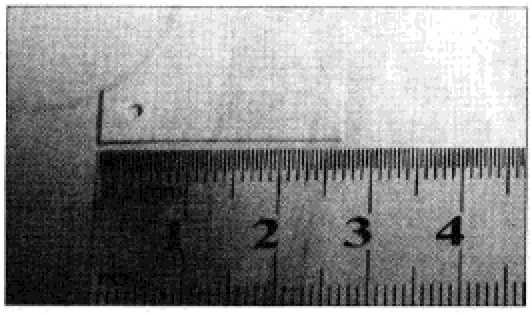
11 将曲柄和连杆连接起来。



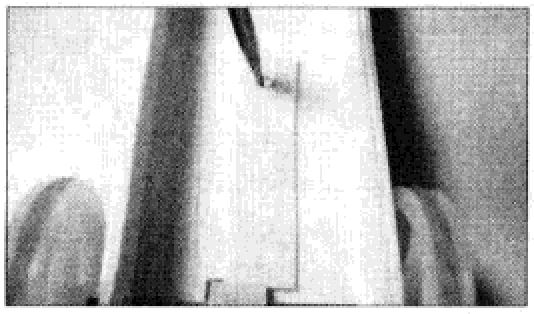
12 将橡皮圈套入大滑轮，作为小车的车轮。选取一段长约4cm的轴，将车轮、小齿轮、车轴套入躯干，再用502胶水将车轮、齿轮与轴固定。注意，车轮、轴、齿轮连为一体，它们与PVC材料之间不能粘合，要能自由转动。



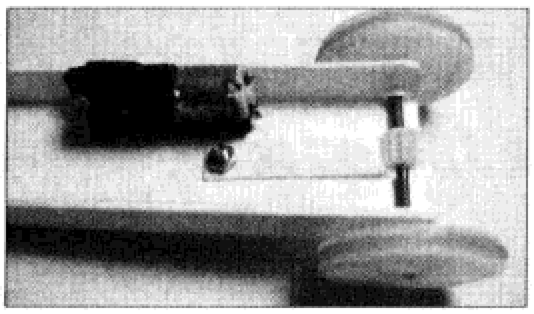
13 剪出一段较薄的PVC材料，作为制动片，其中一端打上小孔。



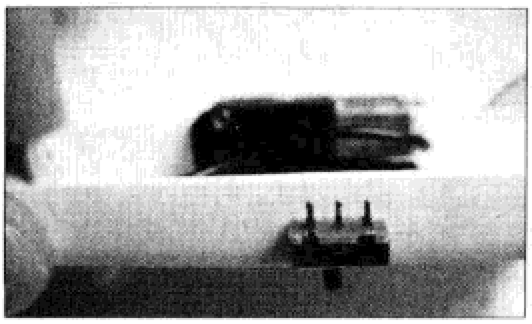
14 将制动片放入PVC躯干槽中，其放置的位置刚好可以卡住齿轮。



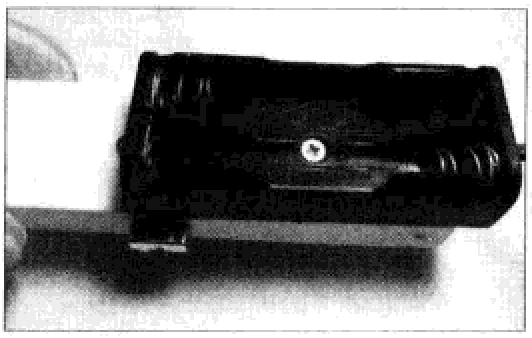
15 将制动片用螺丝固定。安装好制动片后，可以测试一下车轮的转动，由于制动片的作用，车轮只能朝一个方向转动。前后两段PVC躯干都要用相同的方法安装制动片。



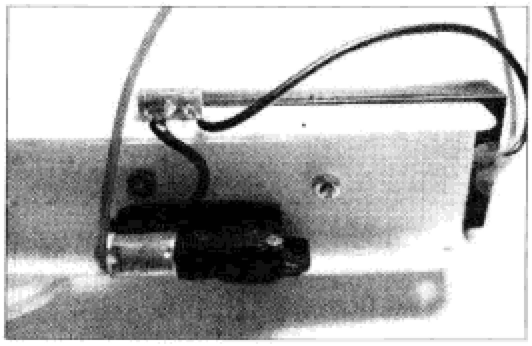
16 用502胶水将开关粘在安装电机的PVC躯干的边槽上。



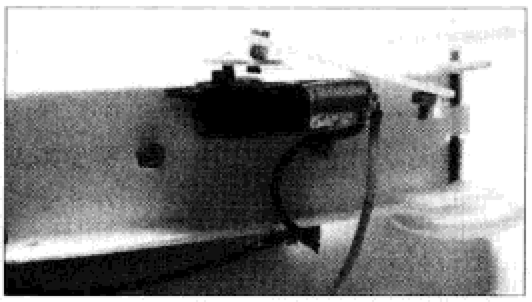
17 用螺丝将电池盒固定在安装电机的PVC躯干上。



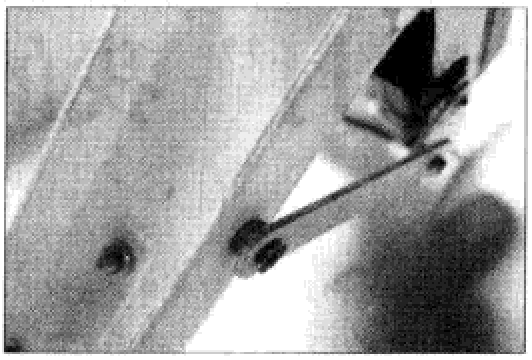
18 根据图4焊接好电路。



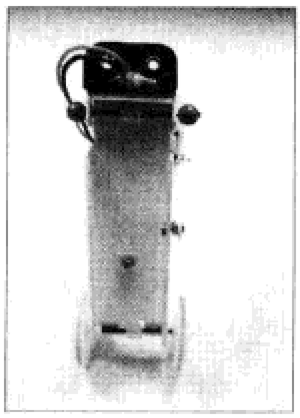
19 用502胶水将曲柄上的短轴固定到电机上。



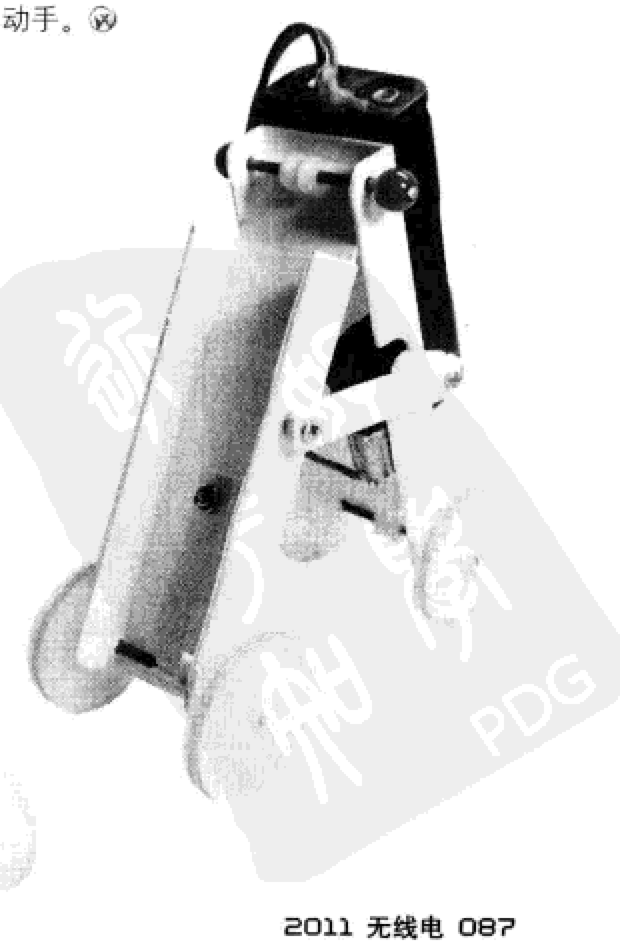
20 将曲柄的另一端用螺丝固定在另一段PVC躯干上。



21 用一根长轴，通过小滑轮，将两段躯干连接在一起。长轴两端分别套上两个小圆珠，防止长轴脱落。

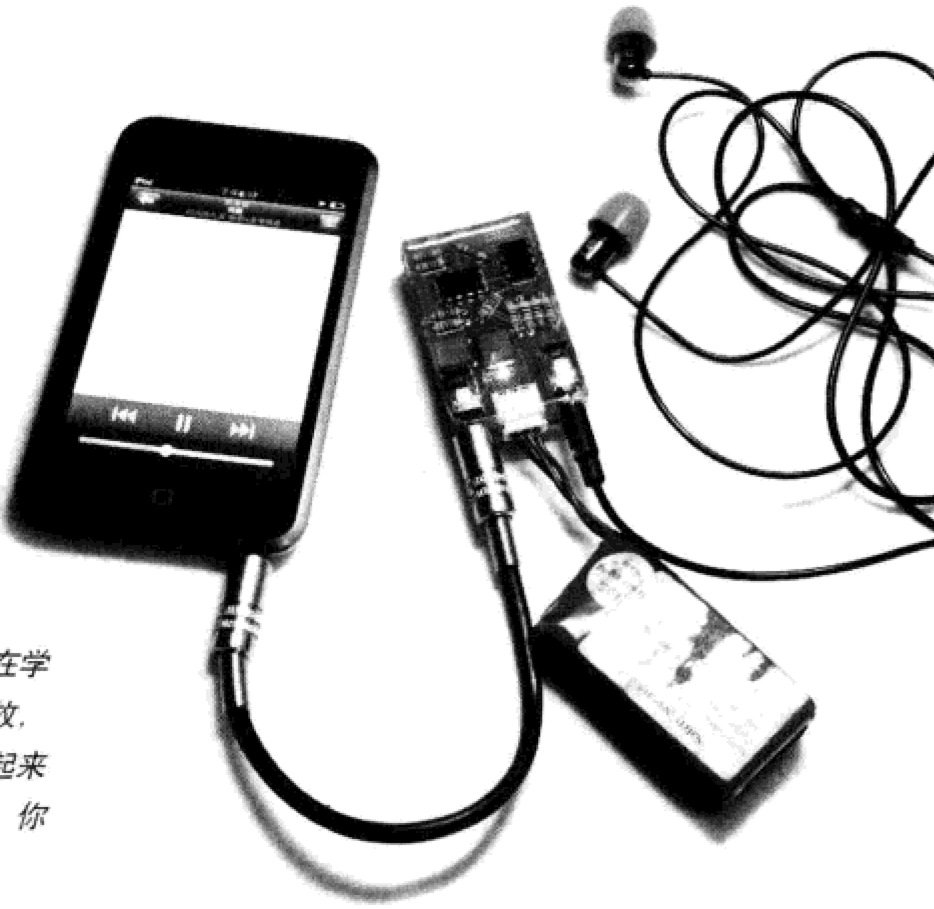


22 至此，“叠行者”的制作就完成了。这是一个非常有意思的项目，且制作相对来说也不复杂，推荐大家都来动动手。



◎陈晟洋

“冰封”我的小制作



如何给自己的电子小制作一个美观、专业的外壳，是在学会制作后需要研究的新课题。本篇文章不谈如何制作47耳放，而是探讨如何将制作好的47耳放用树脂封装起来，让它看起来更像一个商业产品。相信这样的作品不仅会赢得更多赞叹，你也会更有成就感。

还记得2010年第6期杂志上的《LED小夜灯》吗？其中树脂铸造激起了我浓厚的兴趣。在期末考试结束后，我开始进行树脂铸造的尝试。忽然想起英语写作中无敌的句子：tired but happy。我很乐意在这里和大家分享我的制作过程。

我选择了一个简单的47耳放电路进行试验，其原理图如图1所示。

这个电路是一个同向比例放大电路加上一个电压跟随器。由于电位器不好密封，所以我把音频输入直接接到运放的同向输入端，为了美观，也加了一个用于电源指示的LED。更多关于电路的分析可以参考林伟淏先生在2011年第2期杂志上发表的《制作高保真耳机放大器——对于47耳放的完美改进》，我还是希望用有限的篇幅来介绍铸造的过程。整个铸造过程大致可以分为制作铸模和浇铸两个部分。

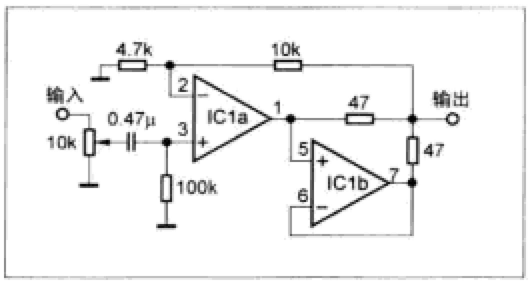
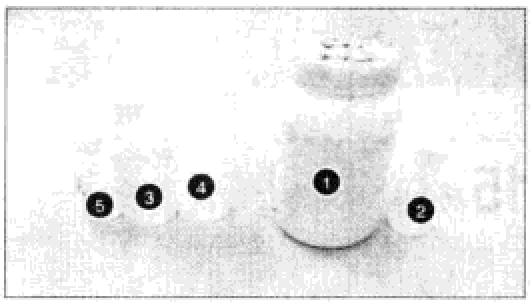
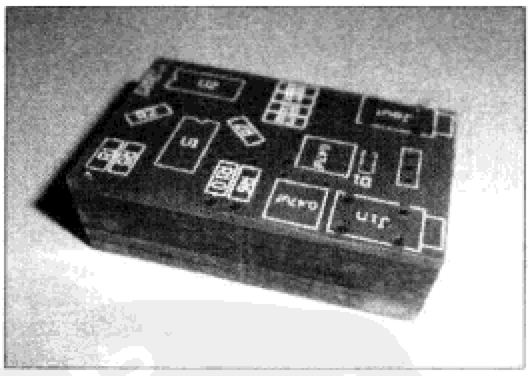


图1 47耳放电路

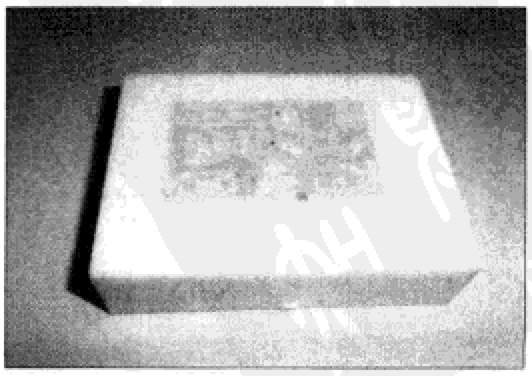
1 首先来看看我们需要的原料。❶硅胶和其❷固化剂用于制作铸模，亚克力树脂（❸A水、❹B水）用于浇铸，❺消泡剂的用途就和它的名字一样，用于消除气泡。



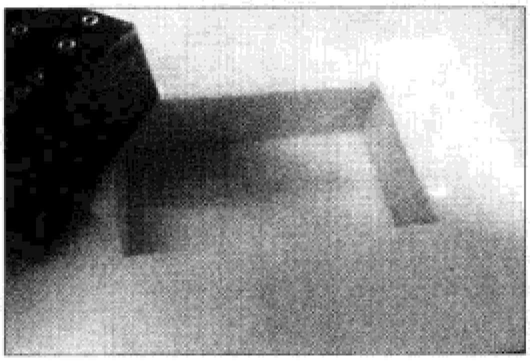
2 我尝试了几种制作铸模型芯的材料，诸如橡皮泥和型砂，但是效果并不尽如人意。最后发现了一个简单高效的方法，即把打样好的PCB重叠起来用胶带包好（图中是7片PCB重叠并用胶带包好的效果），这样做出来的铸模不仅与PCB契合得很紧密，而且在铸造时可以得到光亮的表面。



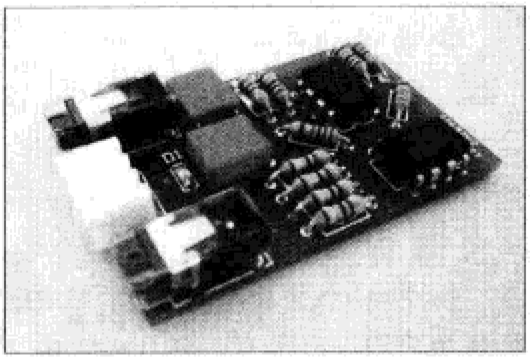
3 我们先把硅胶和其固化剂按10:1的比例混合搅拌均匀，倒入一个长方体小盒子里。然后把胶带包裹好的型芯泡入硅胶，调整好型芯的位置。在重力的作用下，型芯会贴着盒子的底面，不过没有关系，这正是我们所需要的。



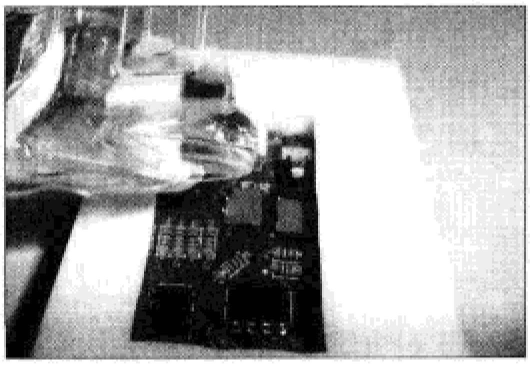
4 20小时后，我们把硅胶从盒子里取出，用美工刀切割一个略小于PCB面积的切口，取出型芯，得到铸模。



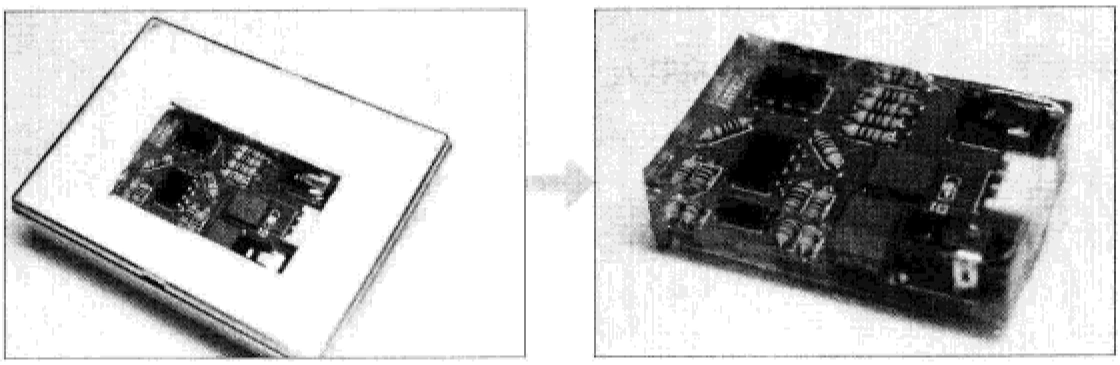
5 我在这20个小时里睡了一个懒觉，并完成了电路的焊接。特别要注意的是，在焊接前，我们要先把耳机接口和电源插座用胶带密封起来，这样在浇铸过程中可以防止树脂灌入接插件。



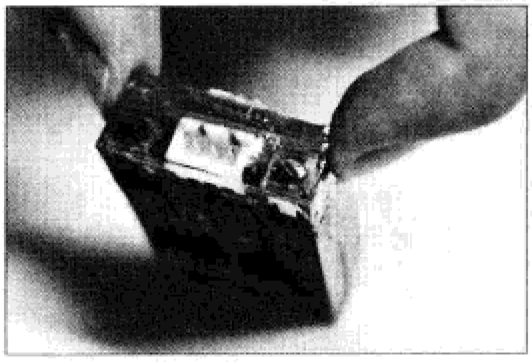
6 接下来就可以开始浇铸了。先把亚克力树脂的A水、B水按2:1混合搅拌均匀，加入几滴消泡剂（我发现加入消泡剂会使树脂变得浑浊，于是只加了一两滴）。接下来用硅胶铸模把PCB压好，开始倒入亚克力树脂，如果发现有小气泡，可以用针刺破。



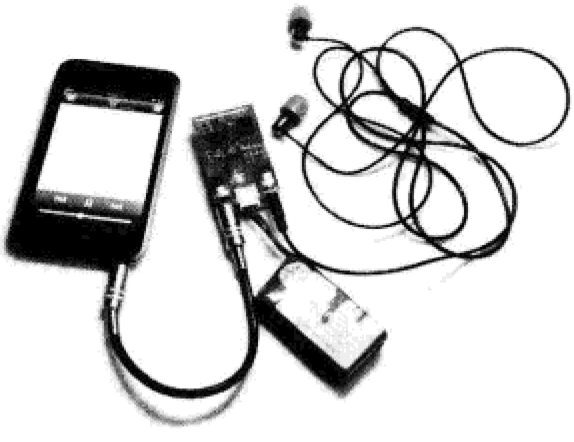
7 7个小时后，把耳放取出来。



8 把我们先前密封好的几个孔用美工刀挖掉，然后放在通风处，让树脂进一步固化。大概两天以后，树脂就完全固化了。



9 最后的一个步骤：enjoy it!



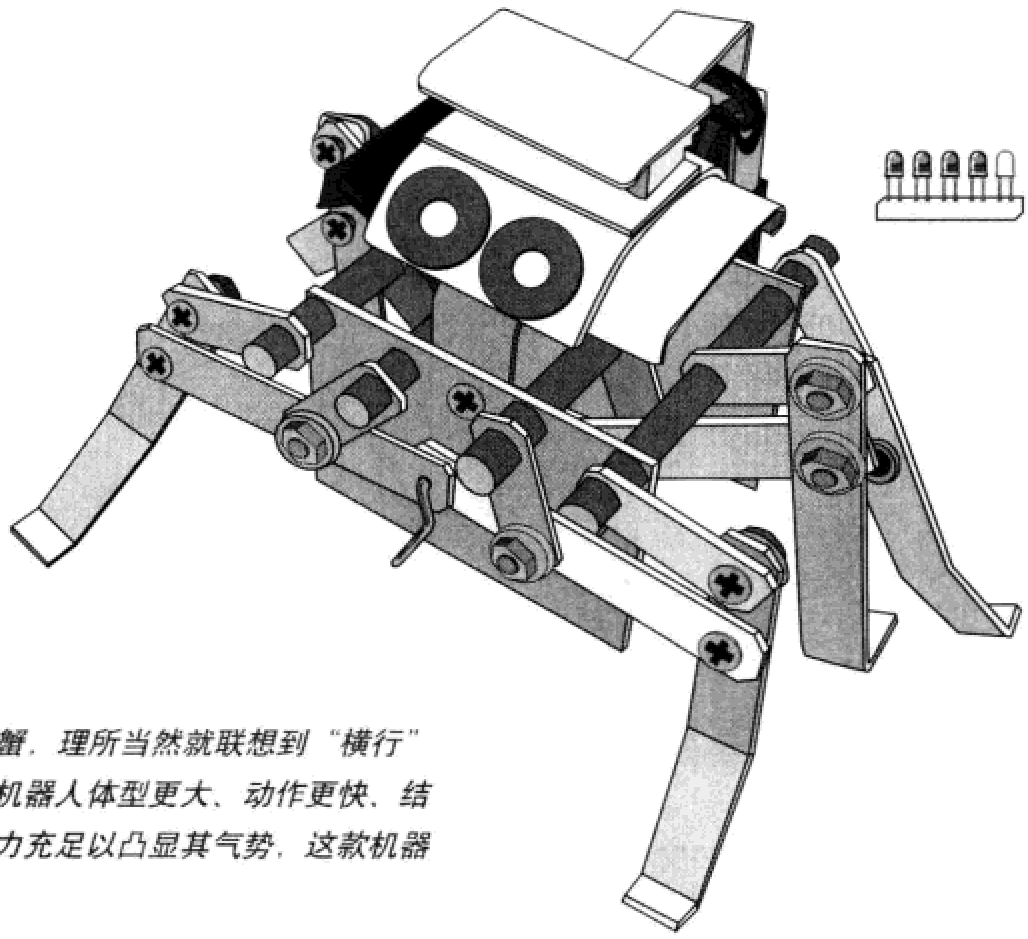
如果大家有兴趣做这个耳放，可以使用洞洞板，也可以使用PCB。如果大家有兴趣把自己的小制作用漂亮的亚克力树脂“冰封”起来，我建议大家在设计PCB时就考虑把接插件放在一条边上，这样有利于PCB在硅胶铸模上的固定，同时也建议大家采用容易密封的接插件。

新书推荐

《爱上制作13》
ISBN:978-7-115-25940-0
定价：35元

《爱上制作 13》是美国《Make》杂志的简体中文版系列丛书之一，包括各种日常生活中的创意手工制作项目，内容涉及电子、机械、工具、户外、家庭、音乐等方面。

本期的封面故事版块为您介绍电视节目《流言终结者》中的核心成员亚当·萨维奇的成长故事。特别专题是“孩童”，以玩具创作为主线，讲述手工制作带来的乐趣。你能亲手制作一艘木质迷你帆船、制作用钥匙打不开的木质机关盒、制作模型火箭发射架等。“项目”版块介绍的几款制作项目包含用饮料瓶制作的氢氧发射火箭、自动转盘活动影像镜、激光特效盒等，加深了一些难度。跟随着手把手的指导，你能将这些趣味非凡的玩意儿制作出来，逗你的孩子开心或者跟家人、朋友一起分享制作的快乐时光。



◎Plenilune　◎插画：刘少冉

PVC-Robot 20号·横向爬行机器人

机器螃蟹

这是一款形似螃蟹的机器人，说到螃蟹，理所当然就联想到“横行”加“霸道”，确实，它比起之前的仿生类机器人体型更大、动作更快、结构更复杂，而且是横着走的。为了确保动力充足以凸显其气势，这款机器螃蟹采用了微型锂电池作为电源。

这款机器螃蟹还是利用连杆结构，把减速电机的转动转换为往复的摆动，以实现爬行运动。不过为了让运动的效果更为自然和流畅，在具体的机械结构设计上就要更复杂一些。从步态控制方法来说，它与本刊今年8月介绍过的PVC-Robot 15号6足机械昆虫比较类似。

运动方式

这款机器螃蟹以6足爬行，比真实的螃蟹少了两足。它基本的运动步态和6足机械昆虫比较类似，即有两组处于对称位置的脚，每组有3只脚，利用“三点决定一个平面”的原理，每个时刻都有其中一组脚支撑住身体，两组脚交替离地迈步。仅从步态来说，它和6足机械昆虫的区别只是前者是横向运动，而后者是直线前行而已。

机器螃蟹横向爬行的步态分解如图1所示。

（1）静止时6条腿同时着地。

（2）前进时，先迈出第1组的3条腿，第2组的3条腿着地。

（3）第1组3条腿着地后保持不动，然后换第2组3条腿往前迈出。

（4）第2组3条腿着地后保持不动，再换第1组……

如此循环往复，同一时间都保证有一组3条腿着地以保持身体的平衡，并不断前进。

驱动原理

这款机器螃蟹在动力传动结构上主要利用“摆动曲柄滑块机构”这种特殊的连杆机构把减速电机的转动变为往复摆动，而在腿部的姿态传动结构上，主要还是利用多个基本连杆机构的组合实现控制。

它的曲柄连杆结构比较特殊——同一根轴上有3个曲柄，其中最左边和最右边的曲柄弯曲方向是相同的，而中间曲柄的弯曲方向是与前两者相反的，每个曲柄同时安装身体两侧的一对脚。

这样，身体左右两侧对应的两只脚的动作正好相反。身体同侧的3只脚中，两侧脚的动作与中间脚的动作正好相反。如此，就能实现图1所示的运动方式了。

机器螃蟹的连杆机械结构如图2、图3所示，具体效果可以参看视频后面部分的内容。

演示视频：http://v.youku.com/v_show/id_XMjk4NTkxMzM2.html

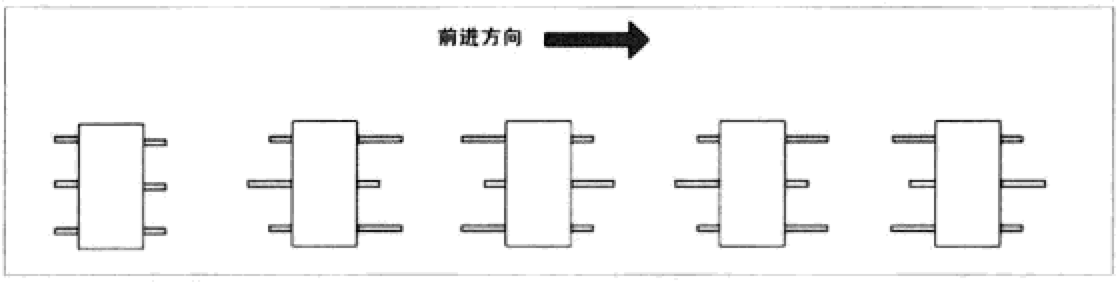


图1 机器螃蟹横向爬行的步态分解

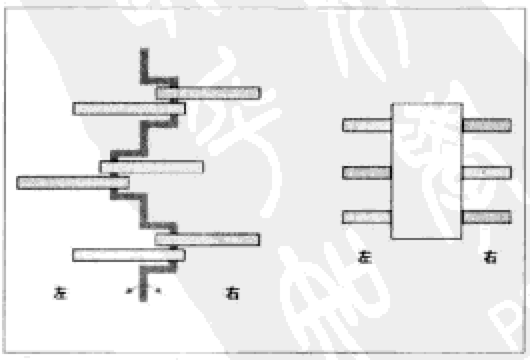


图2 单个曲柄连杆结构

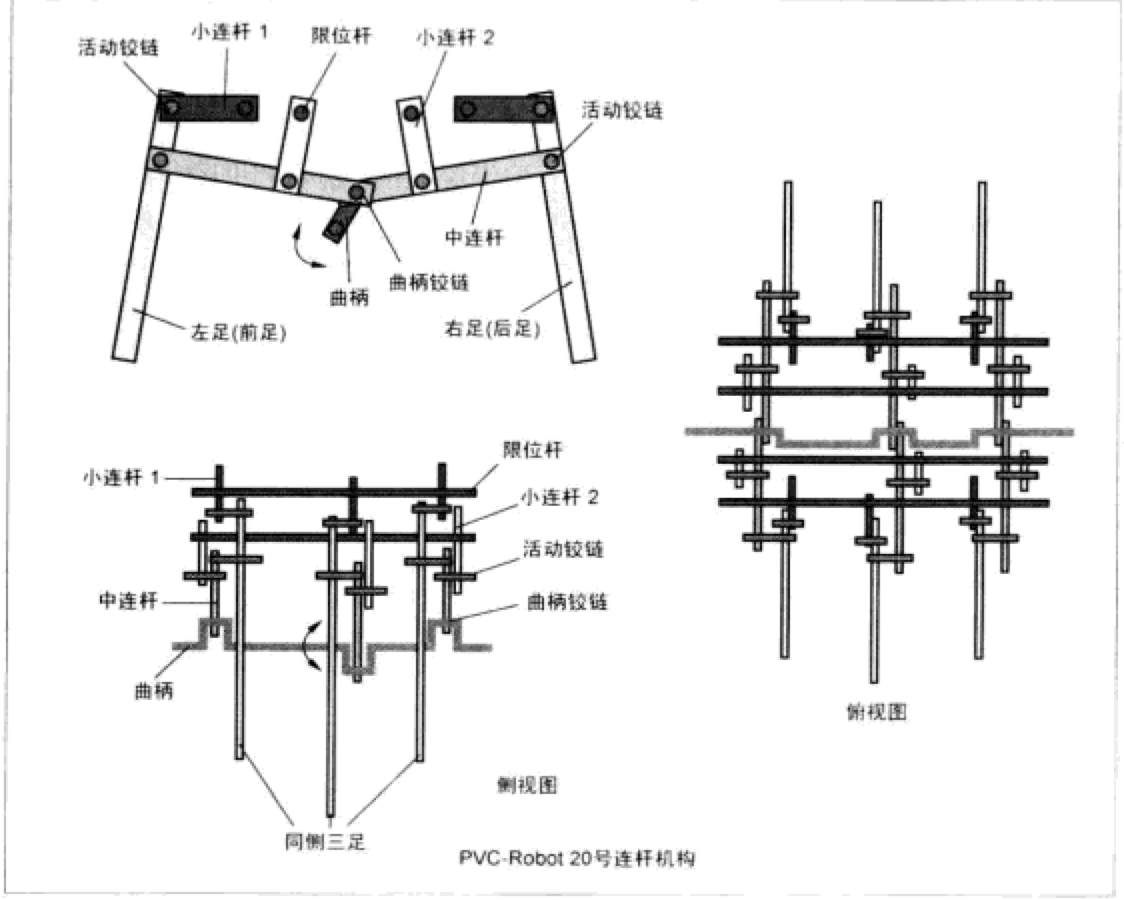


图3 机器螃蟹的连杆机构

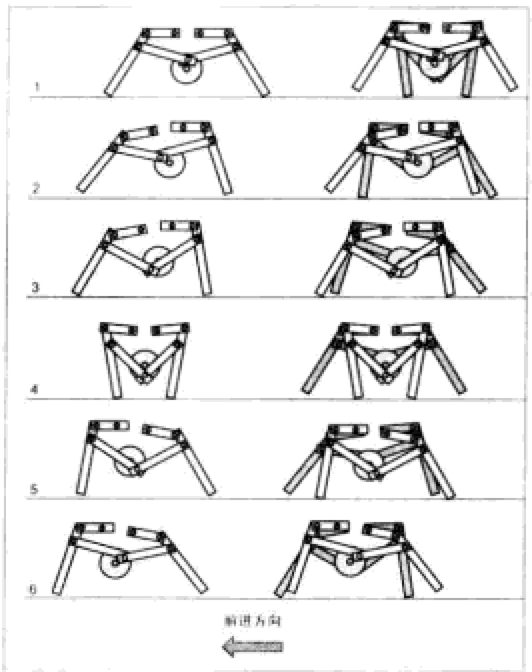


图4 运动步态中各环节的连杆状态

我们利用曲柄连杆的结构，结合多个连杆组合，可以控制6个支撑脚，分成对称的两组分别在固定和移动两个状态间切换。图4列出这个运动步态中各环节的连杆状态，其中左边一列为单只脚的整个状态变化过程；右边一列后面灰色的代表中间的脚，而最外面和最里面的脚由于都始终保持同步，所以只显示最外面的脚。

电路原理

机器螃蟹的重点在于机械结构，电路非常简单，就是将电机直接连接电池，中间通过一个拨动开关来控制电路的通断，焊接方法见图5。

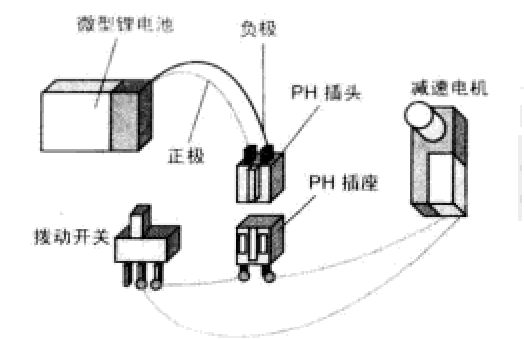


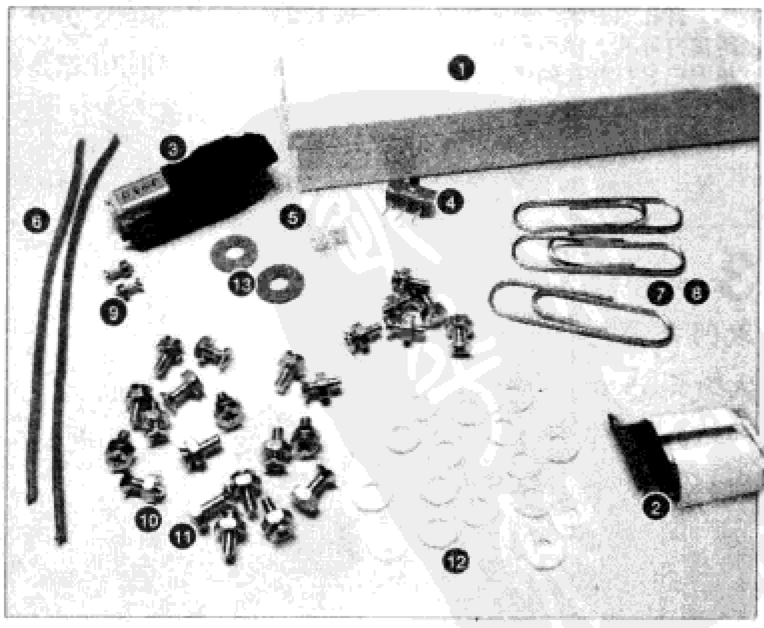
图5 机器螃蟹电路焊接示意图

准备工作

本项目需要的器材主要包括PVC线槽、带减速齿轮箱的电机、螺丝、螺帽、垫片等，如表1所示。

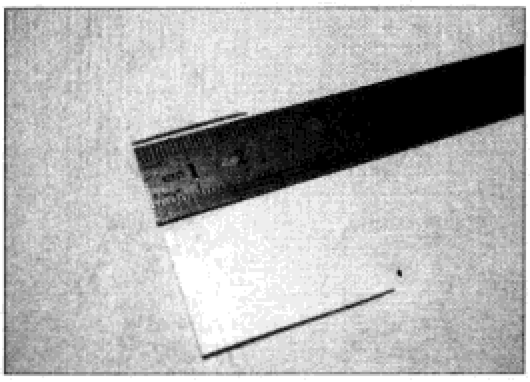
表1 制作所需的材料

名称	规格	数量	用途
❶PVC线槽	宽度为2.5cm	若干	主体材料
❷微型锂电池	3.7V、180mAh	1个	电源
❸减速电机	带齿轮减速箱的微型电机	1个	动力
❹拨动开关	小拨动开关	1个	电源开关
❺插座	PH2.0、2P、间距2mm	1个	接锂电池用
❻导线	红/绿	若干	电路连接
❼曲别针	文具	1个	曲柄轴
❽曲别针	文具	2个	限位杆
❾M1.2×5螺丝/M1.2螺母	直径1.2mm、长5mm	2对	固定电机
❿M2×6螺丝/M2螺母	直径2mm、长6mm	6对	固定支架
⓫M2×6螺丝/M2螺母	直径2mm、长6mm	18对	关节铰链
⓬M2垫片	直径2mm	18片	铰链垫片
⓭M3垫片	直径3mm	2片	装饰（眼睛）

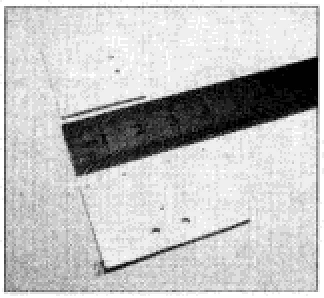


制作过程

1 剪两片长3.5cm、宽2.5cm左右的PVC方块，作为外壳的侧板。



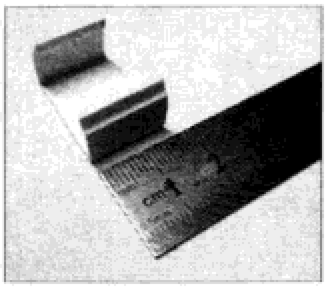
2 在如图所示的位置用锥子或小钻头给两片外壳侧板打相同的孔：（1）在一侧，距离边界大约2mm左右的地方，等距打上4个直径1mm左右的小孔，这是限位杆的安装孔。（2）在同一侧，距离边界15mm左右的地方，中心位置打上一个直径1mm左右的小孔，这是曲柄轴的孔。（3）在另一侧，距离边界5mm左右的地方，中心位置打上两个直径2mm左右的小孔，两个小孔之间间距10mm左右，这是侧板的固定孔。



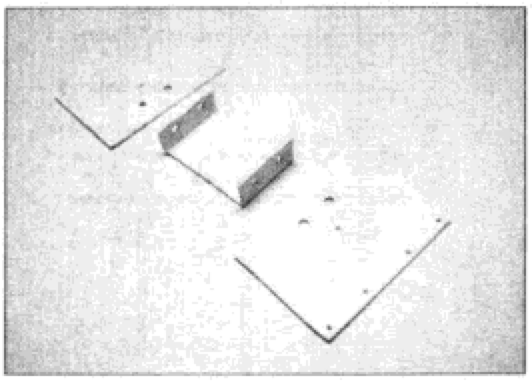
特别提示

打孔的时候，先在其中一片侧板上量好距离打好孔，然后再把两片侧板叠在一起，根据已经打好孔的侧板给另外一块作标记再打孔，这样能够确保两片侧板的小孔位置是完全相同的。

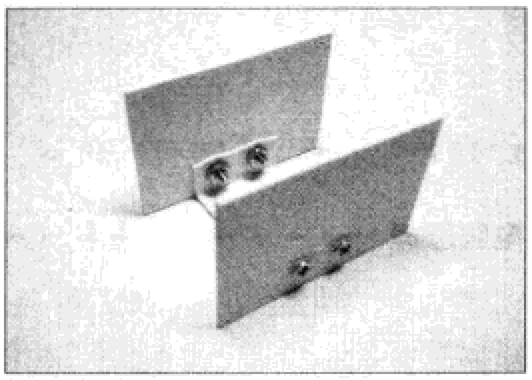
3 用宽度为2.5cm左右的PVC线槽，截取凹槽部分大约长1.5cm的一段，作为外壳的支架。



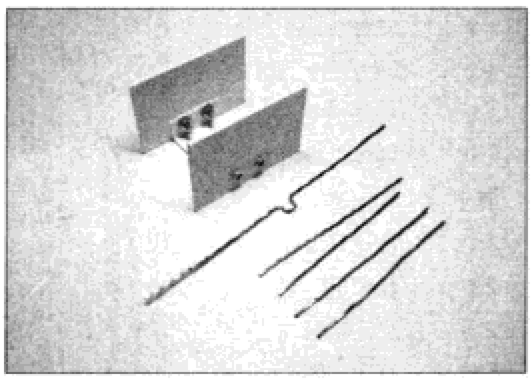
4 剪掉凹槽支架边上的卡口部分，然后把支架对着之前打好孔的两片侧板，对应侧板上的两个2mm的孔，在两侧也各打上两个2mm的安装孔。



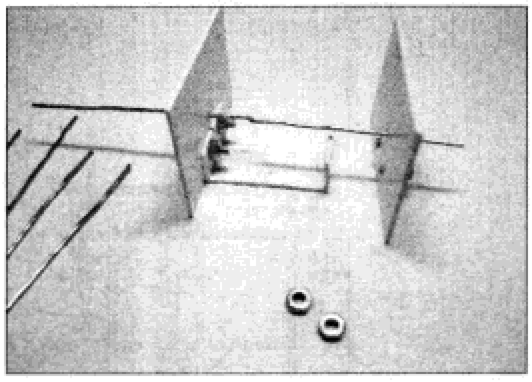
5 把凹槽支架和两片侧板用M2×6的螺丝和M2螺母固定起来，完成外壳的安装。



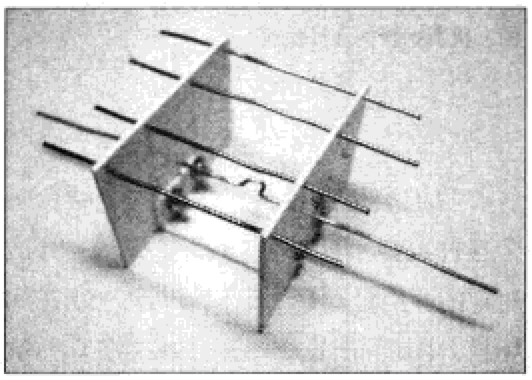
6 把3枚曲别针拉直，其中两个曲别针对半截成两段，共得到4根小钢丝作为限位杆，另外一个曲别针在中央位置用尖嘴钳扭出凹型，做成曲柄轴。



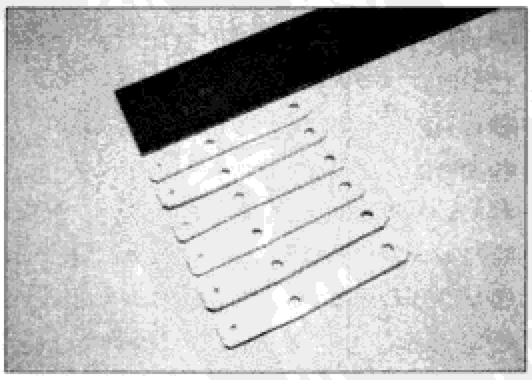
7 把曲柄轴插入外壳侧板中下部的中心小孔。由于曲柄轴中间做成凹型，为了顺利插入小孔，可以先把一片侧板拆下来，插入曲柄轴后再重新安装。



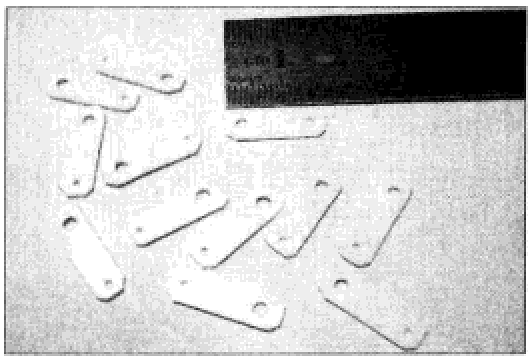
8 把4根限位杆插入外壳侧板顶上的4个小孔。



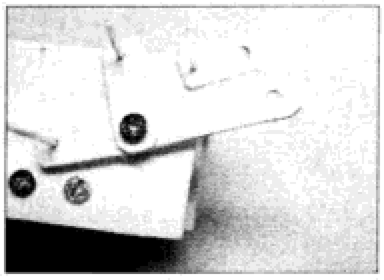
9 用剪刀裁6片长3.5cm、宽0.5cm左右的PVC长方条作为腿部的中连杆，并用锥子或小钻头在上面打孔：（1）一侧打一个直径为1mm的小孔。（2）另一侧打一个直径为2mm的小孔。（3）距离1mm小孔的一侧边上1.2cm左右再打一个直径为2mm的小孔。



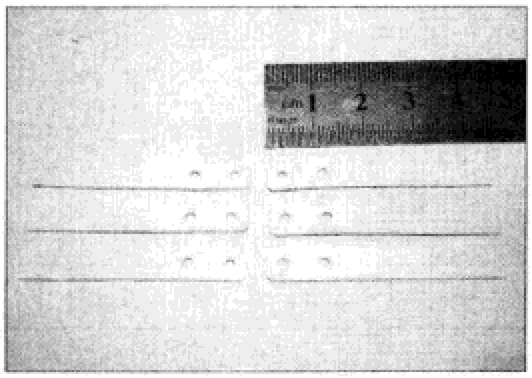
10 用剪刀裁12片长1.5cm、宽0.5cm左右的PVC长方块，作为腿部的小连杆（含小连杆1和小连杆2），其中一侧打一个直径为2mm的小孔，另一侧打一个直径为1mm的小孔。



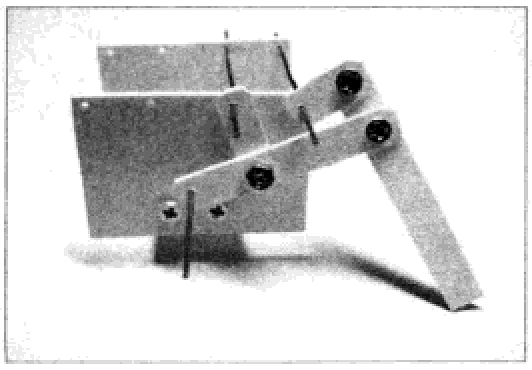
11 把中连杆、小连杆1、小连杆2分别装到曲柄轴和限位杆上。



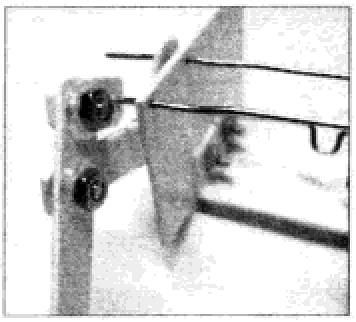
12 剪6段长4.5cm、宽0.5cm左右的PVC长方条作为足部，并在其中一侧距边上0.3cm和1.2cm左右的地方各打一个直径为2cm的小孔。



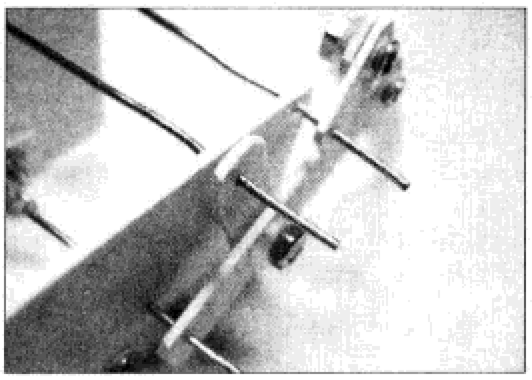
13 把足部与中连杆、小连杆1一起装好，并用M2×6螺丝和M2螺母连接起来作为活动铰链。



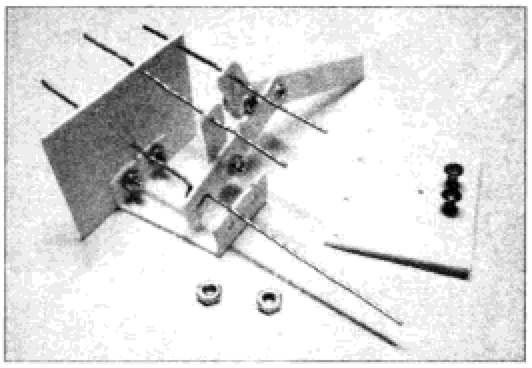
14 中连杆、小连杆1与足部的铰链螺丝固定时，可以同时装上M2的塑料垫片以确保铰链的灵活。



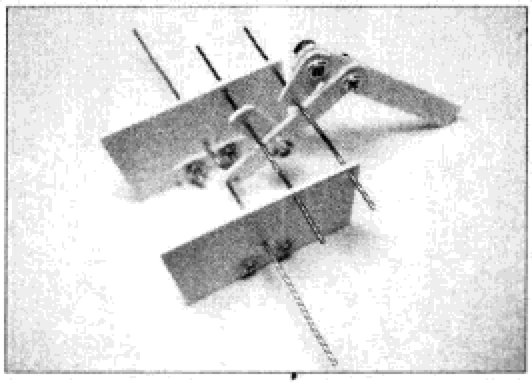
15 中连杆与小连杆2的铰链螺丝也可以垫上M2垫片。



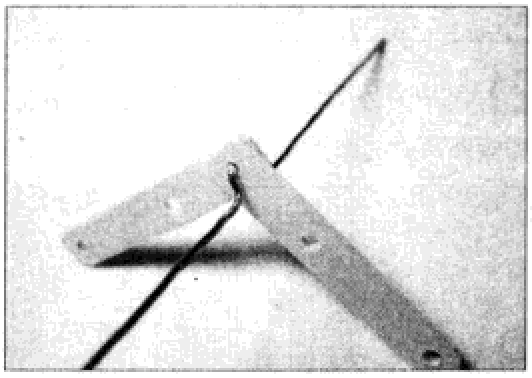
16 由于外壳的原因，装在曲柄轴中部的连杆与足部不是很好安装，可以先拆掉其中一侧的外壳侧板，将连杆与足部都插入装好后，再重新把外壳侧板装好。



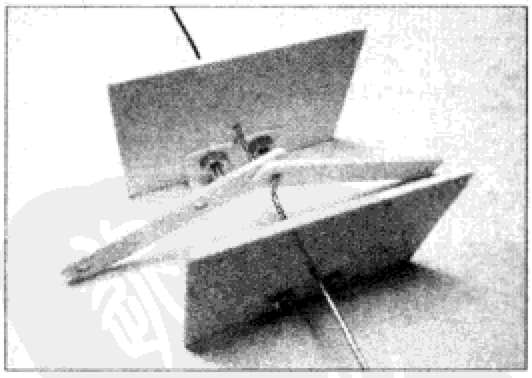
17 尝试转动曲柄轴，这时候整个腿部应该能够比较顺畅地进行跨步摆动，这说明各结构部件的尺寸都比较合适。



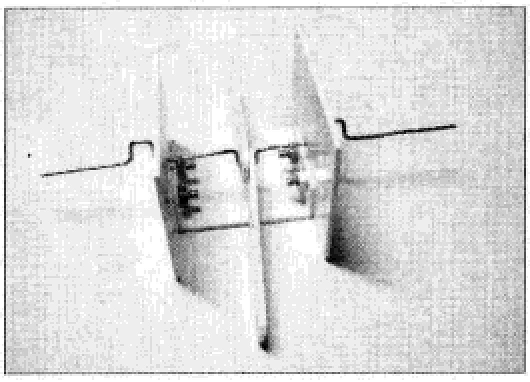
18 接下来开始把所有结构集成起来。先把原来的结构拆开，把两根中连杆装到曲柄的凹型部位。



19 然后把曲柄装入外壳侧板，并把外壳侧板用螺丝固定到凹槽支架上。



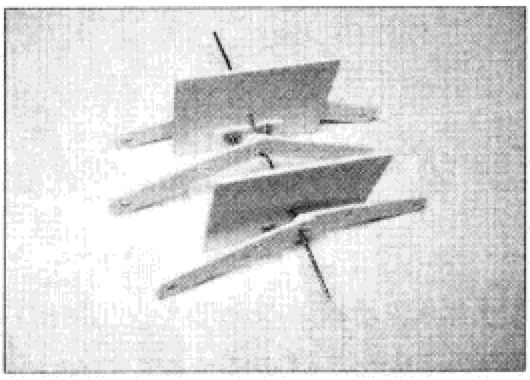
20 对外壳侧板两侧的曲柄轴，再用尖嘴钳各弯折与中部一样凹型，不过方向要与中部的正好相反。



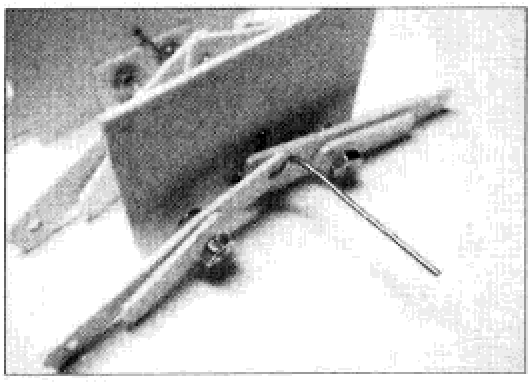
特别提示

对于已经装上侧板的曲柄轴，再在两侧弯折不是很好加工，其实也可以先把曲柄轴事先弯折，然后再把两侧的外壳侧板慢慢沿着曲柄轴的凹型走向逐步套进去。

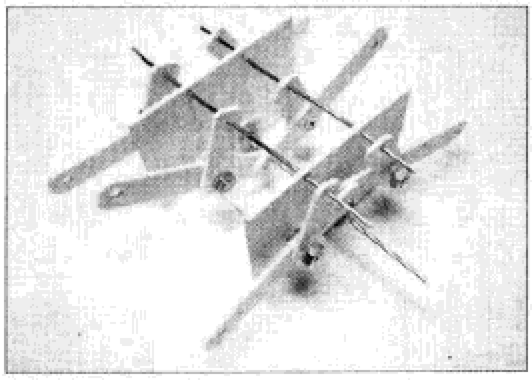
21 再把另外的4个中连杆套入曲柄轴在侧板外两边的凹型状中。



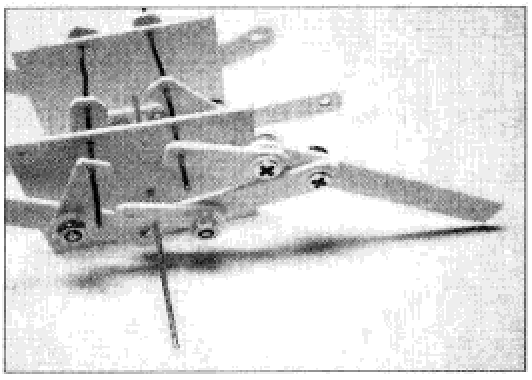
22 把小连杆2用M2×6螺丝和M2螺母与中连杆连接在一起。注意在拧上螺母前先放入一个M2垫片。



23 把小连杆2套到内侧的限位杆上，并让曲别针制成的限位杆穿过外壳侧板上内侧的小孔。

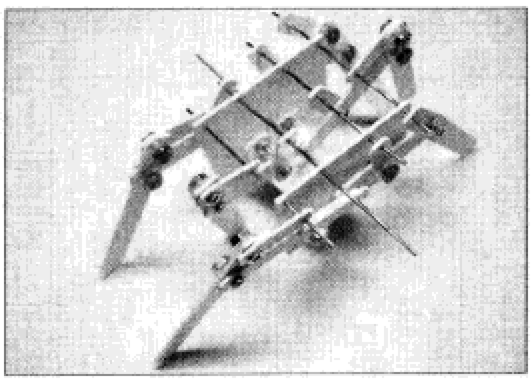


24 把小连杆1与足部用M2×6螺丝和M2螺母连接起来，再把中连杆也用同样方法连接起来。在拧上螺母前先放入一个M2垫片。

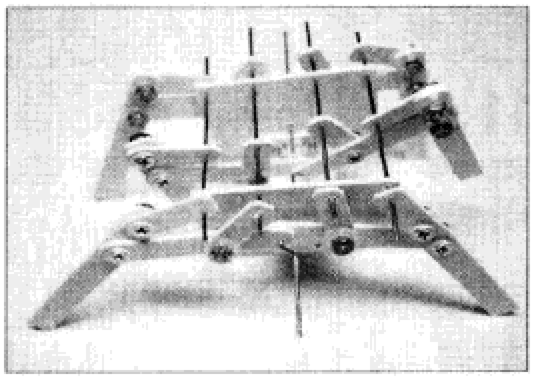


注意：小连杆1最终并不是如图一样套在内侧限位杆上的，当前只是为了暂时固定。

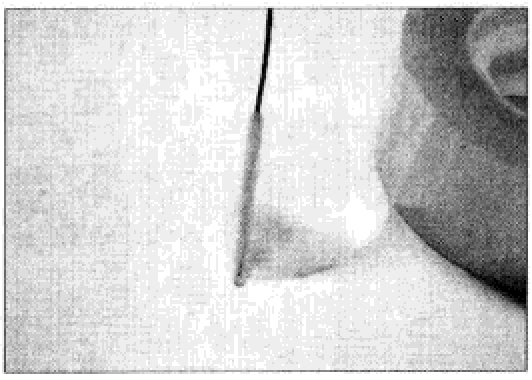
25 小连杆1最终应该套入穿过侧板外壳的由曲别针制成的外侧限位杆中。把6个足部都装上，两根外侧限位杆也装好。



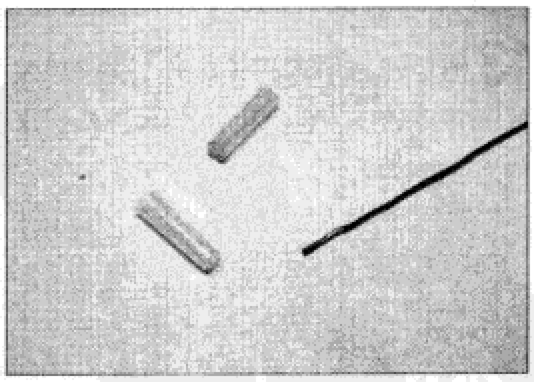
26 用尖嘴钳剪掉限位杆过长的部分，两端仅保留0.5cm左右的一段即可。可以用小棍蘸上少量502胶水，把各个螺母与螺丝顶端的部分固定起来，其中螺母不要拧紧，也不能太松，能够让铰链顺畅转动。注意一定不能粘死铰链。至此，整个结构基本组装起来了。



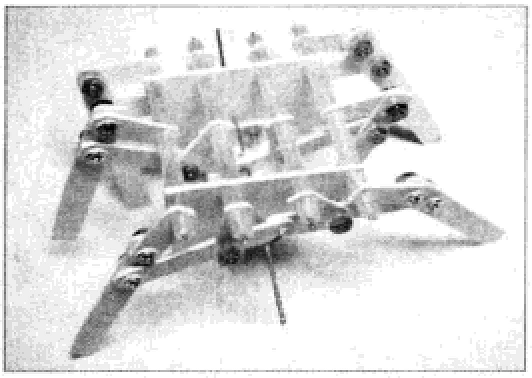
27 将透明胶带缠绕到拉直的曲别针上，多绕几圈后，从曲别针上拔出，得到一根胶管。



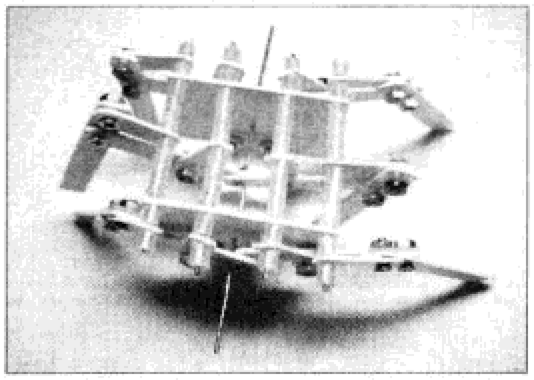
28 把胶管剪成所需的长度。



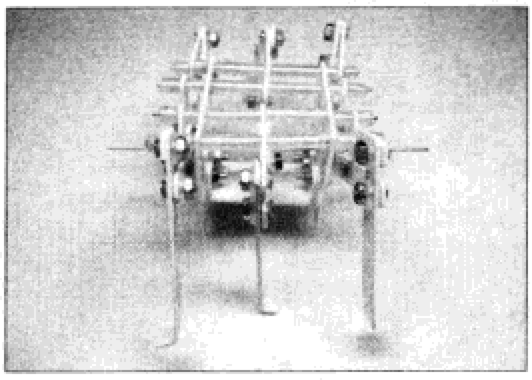
29 把4根限位杆中各足部间的空隙用以上制成的胶管套好。注意：为了把各段胶管都套入限位杆中，而且尽可能不把整个结构拆掉重装，可以先把某根限位杆整个拔出，然后逐步把各足部部件套入，并把剪好长度的各段胶管按顺序逐段套入。



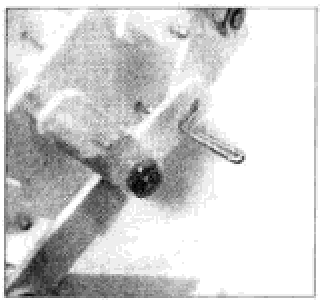
30 把限位杆最外侧的胶管稍微夹紧一些，然后在前端涂上502胶水，把限位杆与最外侧的胶管粘合起来。



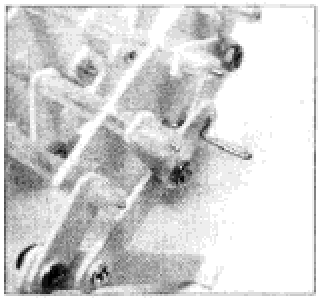
31 为了让足部比较平稳地支撑地面，可以把足部前端用尖嘴钳弯折一下，让其接地面积尽可能大一些。



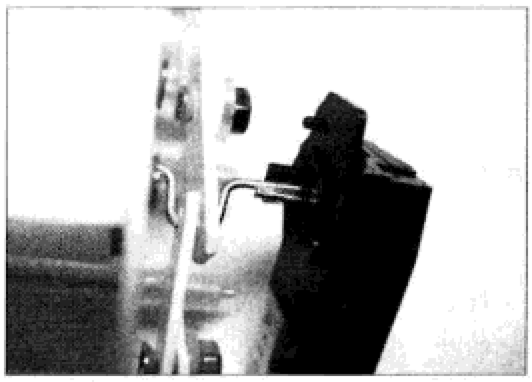
32 把曲柄轴一边外侧的部分弯折起来，并用尖嘴钳夹扁。



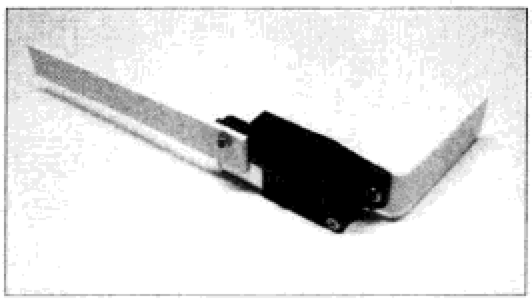
33 按住弯折的部位，尝试直接用手转动曲柄轴，曲柄应该可以带动6个足部比较顺畅地摆动。



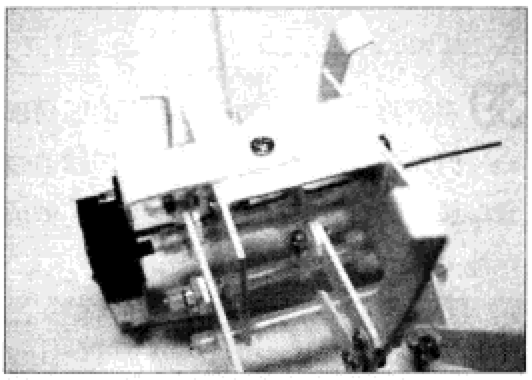
34 减速电机的安装孔稍微大了一点，把曲柄轴前端折弯就是为了让轴能够紧一点地套入减速电机的轴孔中。



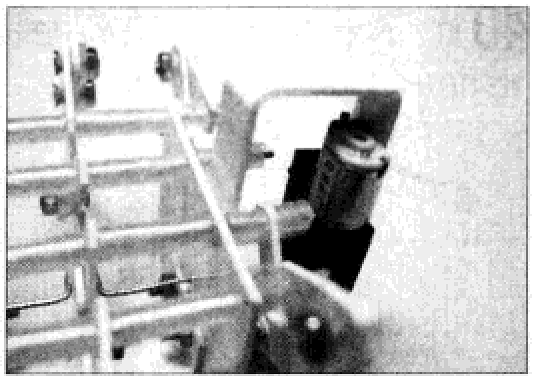
35 剪两段长5cm左右的PVC长方条，前端都打好直径为1mm的小孔，其中一根前端还要弯折。用M1.2×5螺丝和M1.2螺母把两根PVC方条通过减速电机上面的安装孔与减速电机固定在一起。



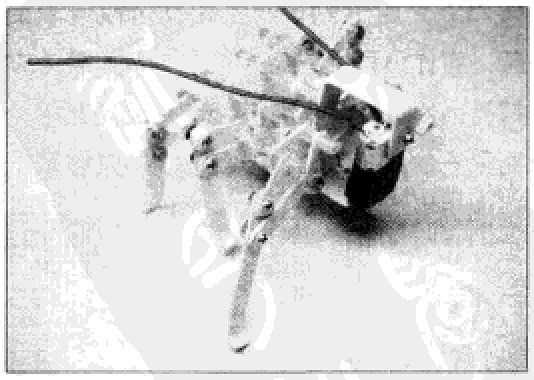
36 把曲柄轴插入减速电机的轴孔中，并让其深入固定好。调整好减速电机的位置让其与外壳对齐，把减速电机上弯折的那段PVC长方条与外壳的凹槽支架的底部对应并打好安装孔，用M2×6螺丝和M2螺母固定起来。



37 再次调整好减速电机的位置，用尖嘴钳把减速电机上那根直的PVC长方条折回，让其末端正好与外壳侧板平齐，再用502胶水把长方条与外壳侧板粘贴在一起。



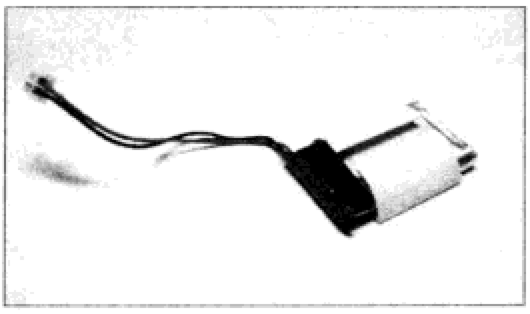
38 把减速电机的导线焊好，连接电源测试一下驱动足部的效果。



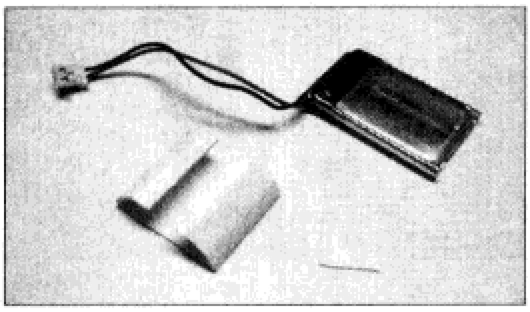
特别提示

减速电机上两个固定用的PVC方条有点长，减速电机不够稳，这是因为我们手工扭制的曲柄轴有一些误差，加上曲柄轴较细，是弯折后再插入减速电机轴孔中的，这样就会造成减速电机的轴与曲柄轴不能完全在一条直线上。在这种情况下，为了让减速电机能够带动曲柄轴，不至于因为轴心不一致而卡死，减速电机不能固定死，要预留一定的摆动空间。当减速电机转动的时候，我们会看到减速电机有点晃动，这属于正常现象。

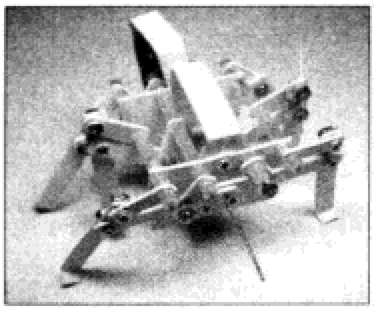
39 将宽度为2.5cm的PVC线槽的凹槽部分，剪大约长为2cm的一段。把凹槽前端卡口部位剪掉，把锂电池包在其中，做成电池夹。



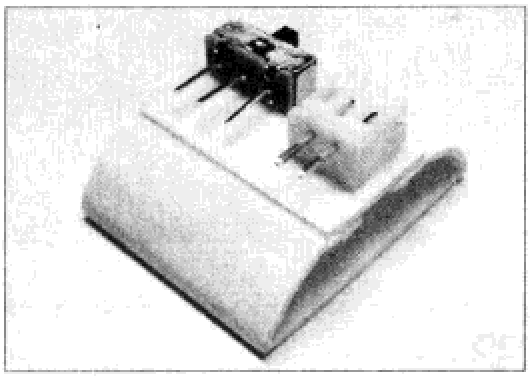
40 剪一小块方块，借助502胶水，把电池夹的开口封住，作为头部造型。



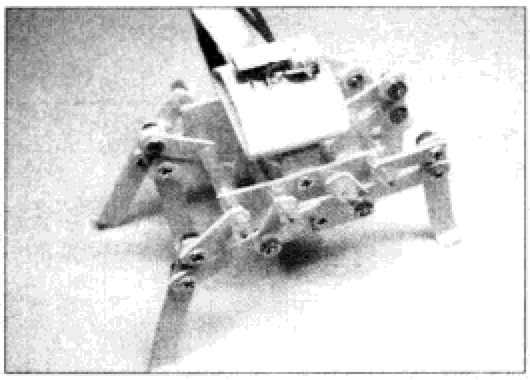
41 再剪一段宽1cm左右的PVC长方条，按照外壳两个侧板间的距离折成一个支架，将作为颈部支架。把它一侧对着外壳打孔，用M2×6螺丝和M2螺母固定起来，而另一侧则借助502胶水直接粘贴在另一块侧板上。



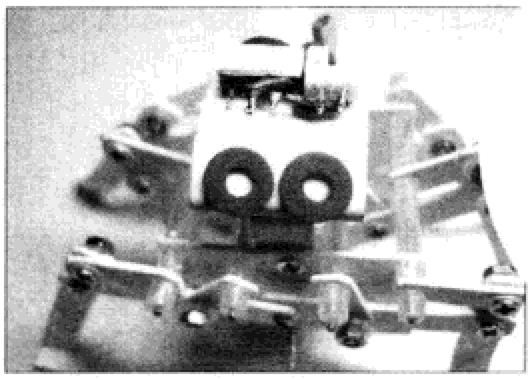
42 把作为头部的电池夹顶部涂上502胶水，把拨动开关和PH插座粘贴住。



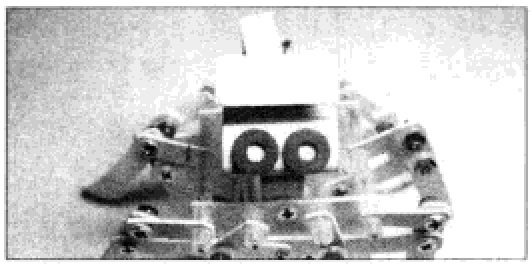
43 把头部电池夹用502胶水粘贴到颈部支架上，按照电路焊接示意图把电路接好。



44 把两片红色M3的垫片用502胶水粘贴在头部前端，做成两只大眼睛的造型。在拨动开关顶部再涂少量502胶水贴上一小块PVC方块，让其能够与PH插座的高度基本平齐。

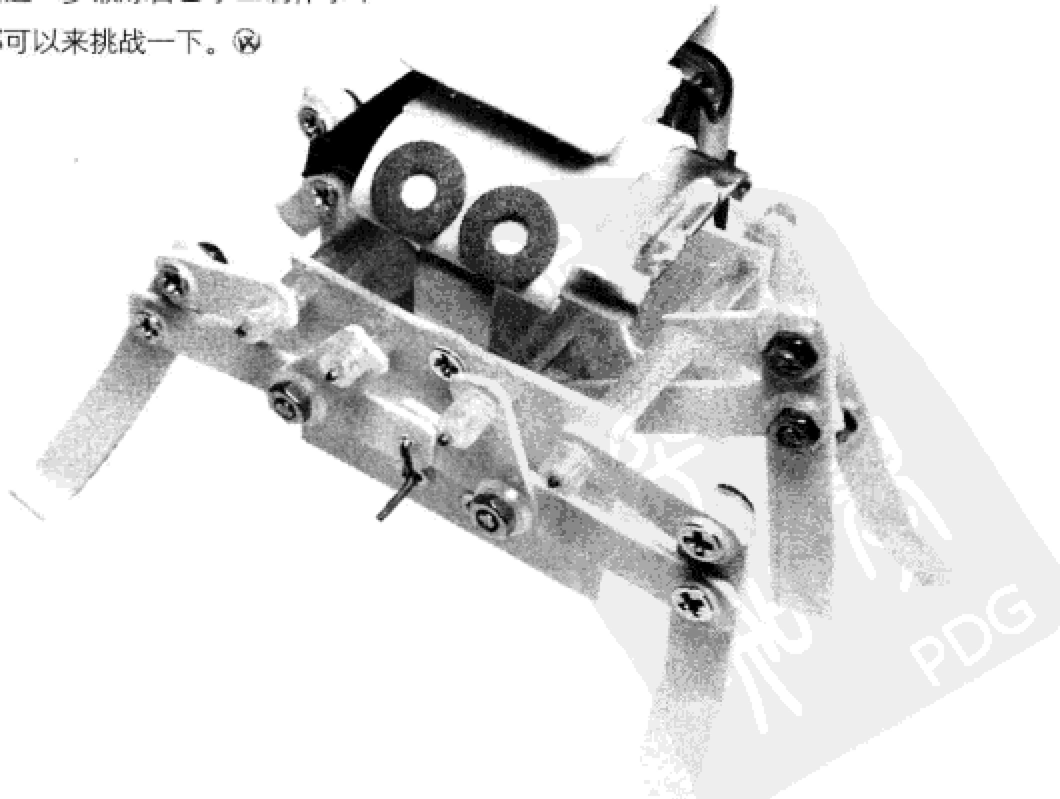


45 之后再用502胶水把一块稍微大一些PVC方块，粘在拨动开关上，作为头顶挡住电路部分。



效果展示

以下是PVC-Robot 20号机器螃蟹组装完成后的整体效果。 本项目在机械结构上加大了难度，要进一步锻炼自己手工制作水平的朋友，都可以来挑战一下。Ⓦ



四轴飞行器DIY

◎徐江 ◎插画：刘少冉

四轴飞行器可以说是机械结构最简单的飞行器了，而且自己制作也不是很难，维护成本也比一般航模要低不少，所以我就花了差不多6个月的时间摸索着做了两个来玩。这篇文章就是一个大概的记录，希望对后来人能有些帮助。由于不少方法都是自己摸索的，难免会有错误，望大家海涵。

电机、电调、桨的选择

第一次选择电机时，我选择的是有刷电机。原因很简单，不需要复杂的电调，直接用MOS管就可以驱动，而且响应速度快，价格又便宜。可惜没有买到合适的有刷电机，只好用减速组配高转速电机。这样一来成本反而高了，而且在实际测试时电机里面火花直冒，也无法将四轴飞行器拉离地面。原因就是电机转速和减速组搭配不合理，转速过快，拉力却不够。

经历失败后，我决定不再冒险，于是选择了大众配置：新西达2212 1000KV外转子无刷电机、新西达30A电调（好赢兼容的程序），在解决了如何安装的问题后，终于可以将四轴飞行器拉离地面了。

对于桨，由于条件所限，只能在淘宝上买到GWS三叶正反桨。我测试的结果是10英寸桨最结实，一般的9英寸桨稍微碰到一点东西就断了，而10英寸桨却一点事也没有。当然并不是说10英寸桨就是金刚不坏之躯，只是比9英寸桨要结实一些罢了。以前担心10英寸桨可能使响应时间过长，造成四轴飞行器无法稳定，后来发现真正影响响应时间的是电调，桨的关系倒不是很大。

用商品电调还是I^2C电调？

一开始我的四轴飞行器采用的是商品电调，原因很简单，自己焊I^2C电调太麻烦了，还是买现成的省事。但随着后面深入做下去，发现这两种电调的差异还是很大的。

我最开始用的商品电调，里面自带PID控制器，严重影响了转速的快速反应，这就造成了考验四轴飞行器稳定性的“自动悬停”基本无法做到。自动悬停的首要要求就是在四轴飞行器倾斜时，能够在最短时间内自动回到水平位置，这就要求电机转速在四轴飞行器倾斜时加快，而快回到平衡位置时又能降下来。商品电调里的PID恰好阻止了这个过程的发生，转速上去可以，想要马上降下来？没门！我试验的结果就是一旦转速上去了，想要降下来，等0.2秒吧，即使这段时间里通知电调降低转速也没有效果，带来的后果就是四轴飞行器一旦倾斜，就会不可控地晃来晃去，好像抬轿子。

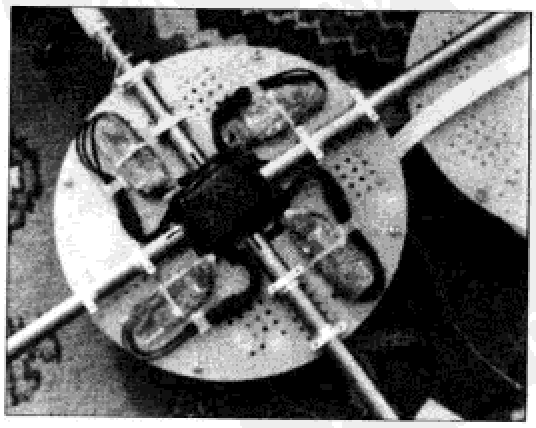
不过这并不是说不能用商品电调制作四轴飞行器，制作出的飞行器完全可以飞，而且也可以飞得很稳。从旁观者角度看，采用商品电调和采用I^2C电调的四轴飞行器，区别并不是很大，而对于操作者来说，差别是相当大的。采用商品电调的四轴飞行器基本像是当年莱特兄弟发明的飞机，所有操作都要操作者来处理，包括飞行后的机身偏转修正。而采用I^2C电调的四轴飞行器就好像F22，相当智能，操作起来很容易。

对于PI参数来说，商品电调和I^2C电调的主要差别在I参数上。商品电调的I参数不能大，否则就会变成一个“飞行轿子”，而I^2C电调就没有这个问题，它的高响应速度可以适应大转速变化。

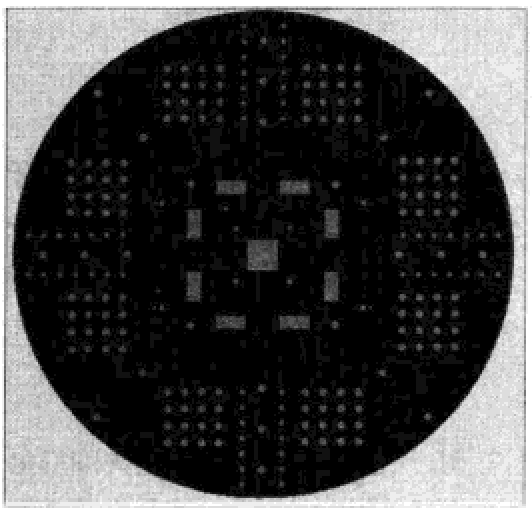
机架设计

对于像我这种没有机械加工条件，本身又没有任何机械加工经验的人来说，加工工作量最小就是我对机架的基本要求之一。我的第一架四轴飞行器就是按照这个目的设计的。

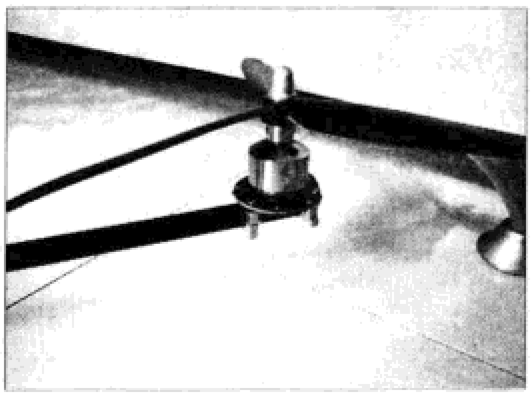
1 利用450电直（电动模型直升机）的尾管做四轴飞行器的轴，用450尾管固定座来固定，包括电机的固定。然后利用玻璃纤维板将4个轴整合到一起就完成了。中间的大板就是玻璃纤维板，更简单一点说，就是我送去加工的一块电路板。



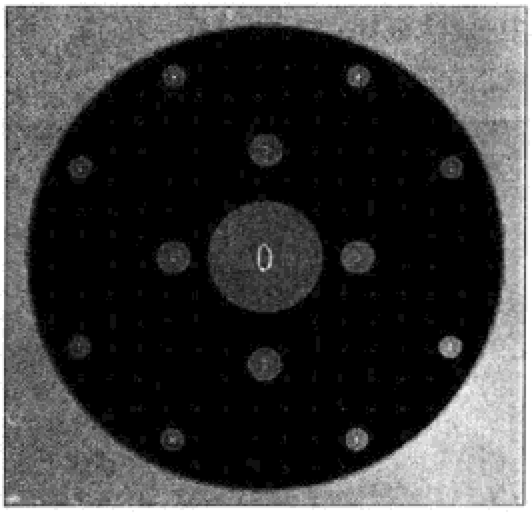
2 这就是原始的设计稿，只有KeepOutLayer上的打孔和开槽，拿回来后需要我做的只是拧螺丝。



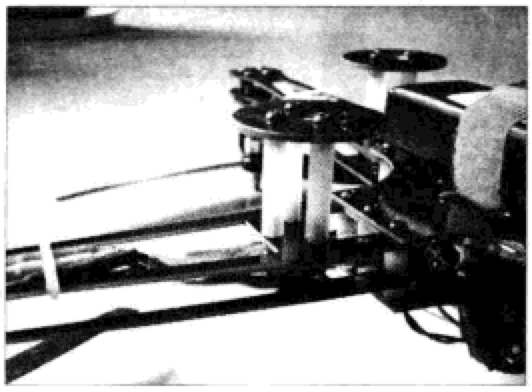
3 电机部分的固定，我也采用了电路板+尾管固定座的方法。同样用电路板做了一个电机座，这样比单纯用铝质电机固定座的强度大了不少。



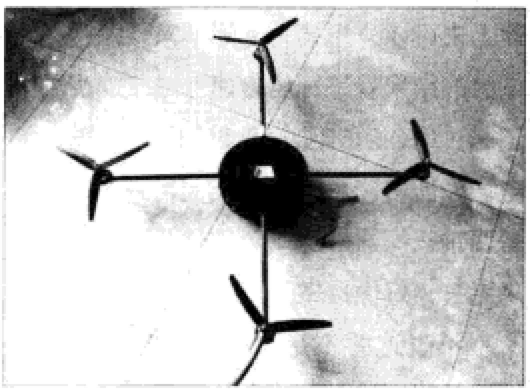
4 这是电机座的原始设计图，照例还是电路板。



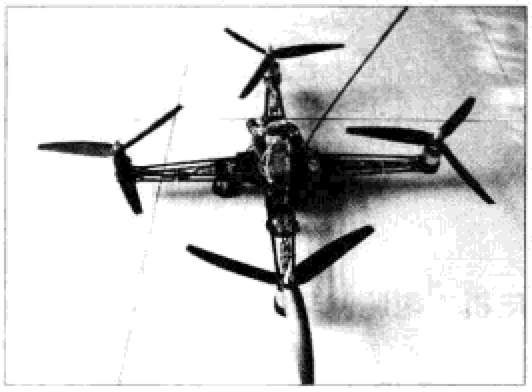
5 对于脚架的固定，我也用了这种板。通常的塑料450脚架虽然看起来漂亮、重量轻，但强度不够，在水平速度很大的情况下滑翔着地时，基本都会断掉。所以我用塑料柱加电机座来当脚架，到目前为止还一个都没坏掉呢。



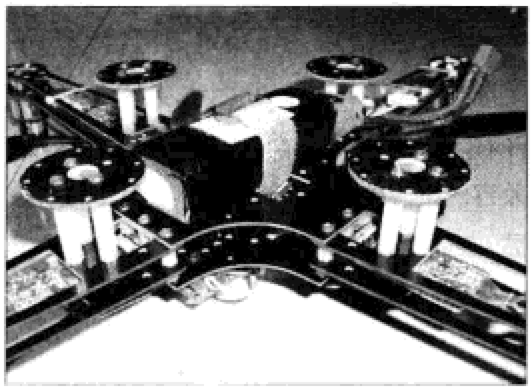
6 整合到一起就是这个样子。不过这种机架的问题也不少，最严重的问题就是那个450碳纤尾杆非常容易断掉，若用铝杆，长时间冲击又会弯掉，为了修理这个也花了我好多钱呢。另外一个问题就是重量，整个四轴飞行器加上电池已经1.2kg了，带来的问题就是续航时间太短，很快就飞不动了。



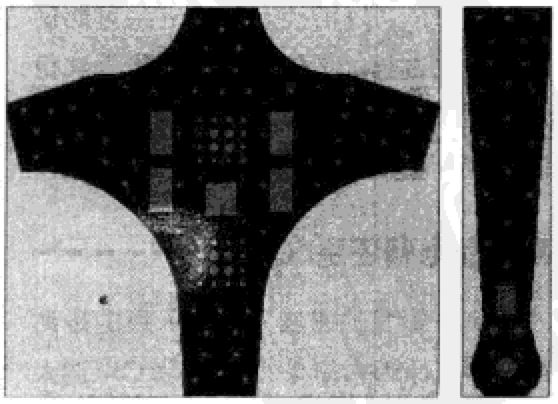
8 完整的四轴飞行器就是这个样子。最后所有东西都装好后，算上电池重量大约900g，至少比以前的轻了。而且这些电路板加起来的总成本也比以前用450尾管固定座便宜不少，大约150元就都搞定了。



9 电池采用了更结实的方法来固定，电池还用魔术贴粘到机架上了。起落架依旧使用经过考验的电机固定座，而且是3个塑料柱组成一个三角形，抗水平冲击强度更大，这也是固定座现在的唯一用途了。



7 于是下一个机架又开始设计了，这回依旧用电路板来做，整个机架分为两部分。大“衬衣”组成中间的机架，两片小竖条组成一个轴，一共需要8片小竖条。



硬件电路设计

在硬件上，我采用了一个单独的ATmega8处理器对遥控器的输入舵量进行解析，ATmega8的IO口数量可以做到8路输入和8路输出。姿态控制我用了一个ARM7核心的AT91SAM7S256，最高55MHz的主频，有64KB的内存、256KB的Flash可以供我“挥霍”，这样我就可以将注意力集中到算法上，而不必担心资源不够用了。这两个处理器利用I²C总线通信，在比较关键的数据（比如舵量数据等）上，都加了CRC16校验。

对于陀螺仪传感器，我采用了图1左下角所示的滤波电路。这个电路没有放大功能，只有滤波功能。

而加速度计我就直接并联一个高频滤波电容到处理器的AD上了。

为了便于分析，我使用了一个MicroSD卡做飞行数据记录，利用AT91SAM7S256的SPI口和它进行通信，同时移植了EFSL文件系统，这样就可以按照文件形式，一个文件一个文件地记录下去了。不过用这个文件系统最麻烦的地方就是断电的时候，由于EFSL自带的缓存的关系，如果没有在断电前将数据写回SD卡，有可能造成数据丢失。我的对策是在起飞前间歇性地将文件关闭，SD卡卸载，然后再重新装载。在起飞后就不必这么麻烦了，直接一直写下去就可以了。这种策略兼顾了方便性，同时可最大限度地避免文件损坏。

由于有了SD卡，对于ATmega8上的程序升级我也转成了I²C方式。通过一个小巧的I²C BootLoader直接把SD卡上的BIN文件传输上去，非常方便。

在第一版四轴飞行器上，为了测试各种安装位置，看到底要怎么装才是最佳组合，我采用了分板的设计。PPM解码/输出一个，陀螺仪一个，加速度计一个，姿态处理器一个，SD卡和电源一个，分

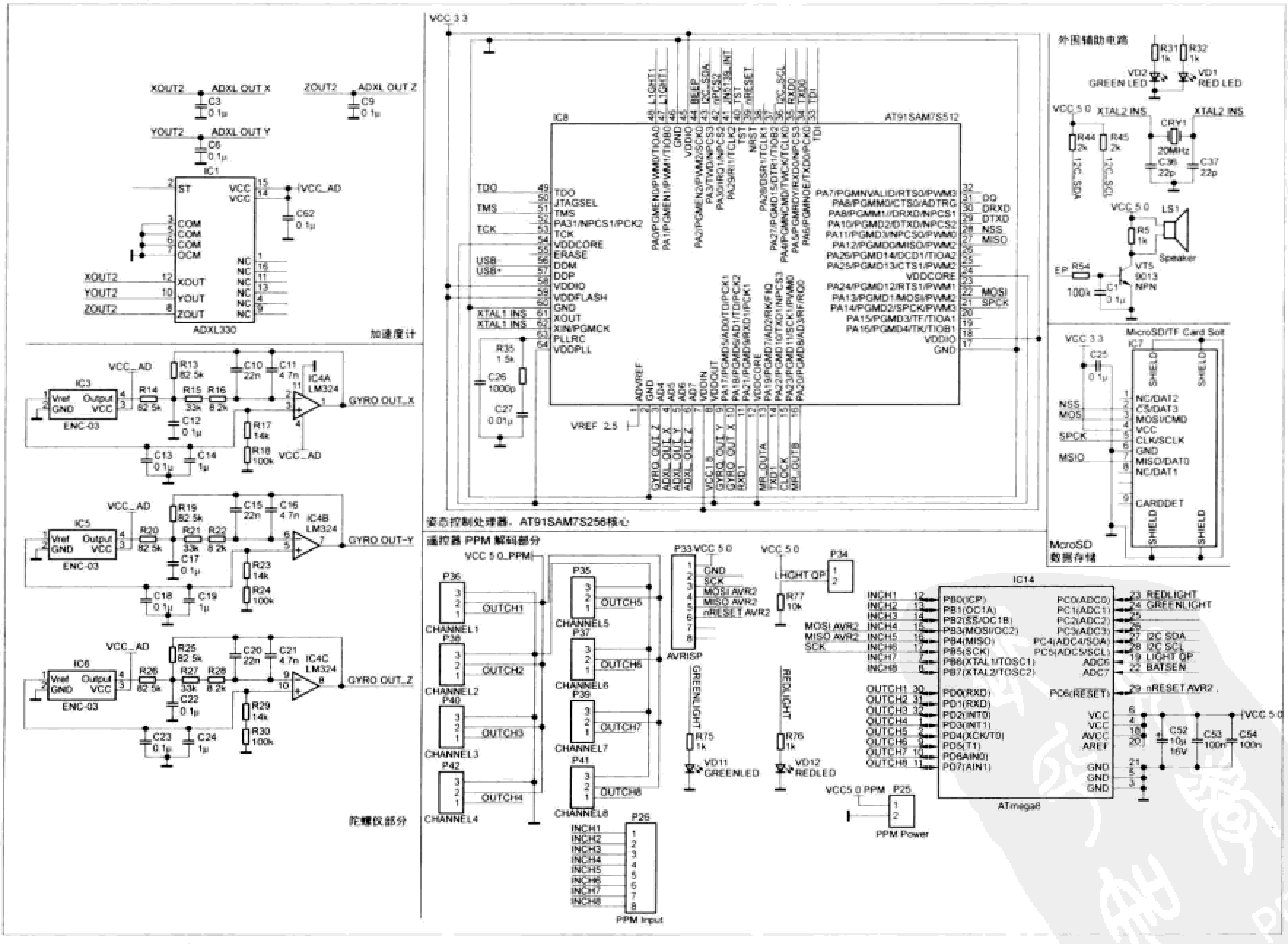


图1 四轴飞行器的电路图

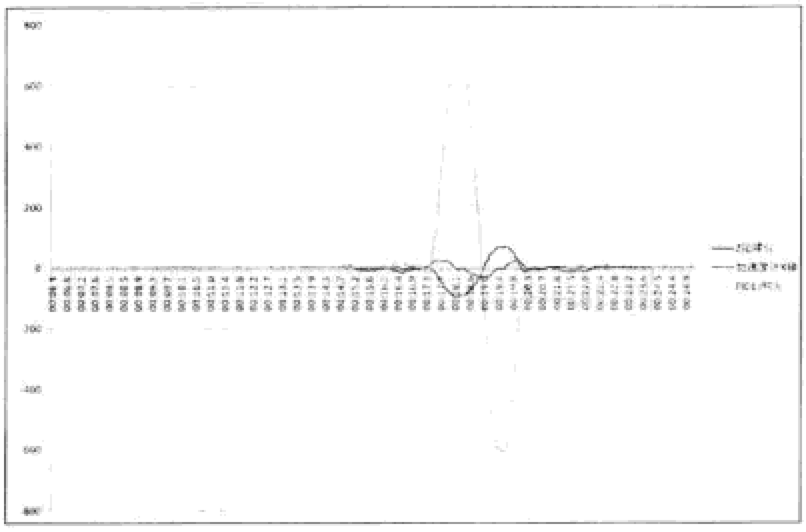


图2 陀螺仪有漂移

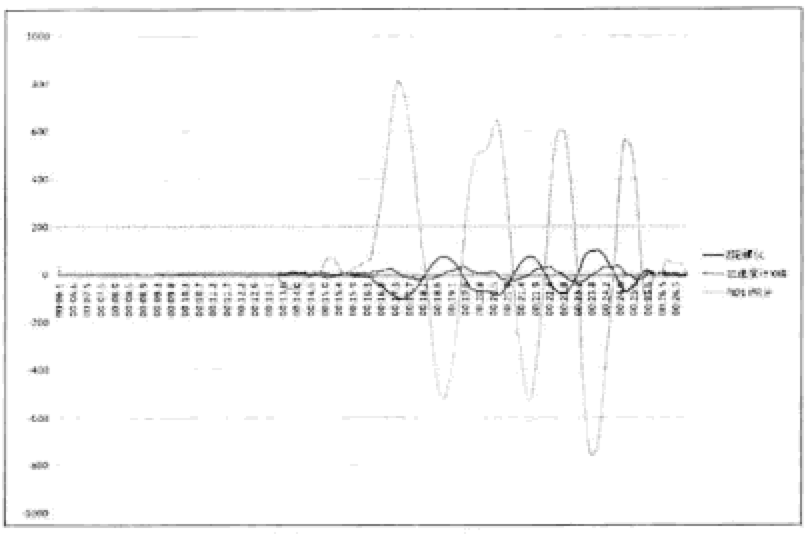


图3 加入积分修正码后，陀螺仪积分可以正确收敛了

了好多个板。后来我被这些板之间的连线搞到头大，经常因为线接触不良引起莫名其妙的故障，最后只好回归单板设计，把处理器、SD卡、PPM编码/解码、3轴加速度计/3轴陀螺仪、温度传感器、电源分线器作为一个板，把GPS、气压传感器、电子罗盘、ZigBee无线模块等作为另外一块板。两个板之间用1.27间距的插针连接，调试完成后可以直接焊到一起，这样就避免了多余电缆的接触不良问题，经过实践检验，效果还是很好的。

软件设计

相比硬件，软件才是四轴飞行器的最大难点。

PPM编码/解码部分相对简单，我采用了ATmega8的16位定时器，在ICP引脚收到PPM波形的时候开始计时，一直记录到波形结束，记录下当时的计时器数值，然后切换到下一个通道，没有去管那些前1.5ms的引导波形。输出也是如此，只是为了加快输出速度，我一下子输出8个通道，利用硬件定时器计数来判断哪个通道的输出可以结束了。这样整体输出速度最大可以达到200Hz，这个频率一般舵机是受不了的，不过新西达的商品电调却可以接受这个频率，工作正常不会出现任何问题。

这部分的麻烦之处是要兼顾输入舵量的解析速度和I^2C的响应。由于我没有将所有通道都合并到ICP引脚上，所以要想采集完整的8个通道，需要至少1.5ms × 8 =12ms，最多可能有（1.5+2）ms × 8=28ms的时间。而且有些接收机输出的频率达到63Hz，算下来基本上ATmega8都会忙于解析PPM信号而无暇顾及I^2C了。我的对策是采集完后，只有等到数据被取走后，才会再次解析一遍，这样ATmega8就有足够的时间来处理别的事情了。

在姿态控制算法里，我只用到了标准的PI和加权移动平均这两种算法，没有采用卡尔曼滤波或别的高深算法。具体流程如下：

首先利用处理器的AD功能，将陀螺仪、加速度计的数值读取进来。由于加速度计对振动非常敏感，所以我对加速度计做了一个移动期为10的加权移动平均，用来过滤掉部分振动。由于我的四轴飞行器对这些数据的采集是工作在300Hz的频率下，所以移动期为10对它来说只相当于延迟33ms，再加上适当的加权，基本可以消除由于加权移动平均带来的响应滞后问题。

由于陀螺仪比较重要，所以我没有做多余的处理，就把AD的数据直接拿来用了。以前也测试过移动期为2的情况，也没有问题。

下面对每个轴的陀螺仪做PI，就可以得到电机修正量，将这个量加上油门后输出给电机，就完成姿态调整任务了。

不过这里就有一个“隐患”。由于陀螺仪有漂移（也就是以恒定速度右转90°，然后再左转90°后，陀螺仪积分不会为0），可以看到在四轴飞行器最后回到平衡位置时，陀螺仪积分并不为0，如图2所示。这个偏差在所有陀螺仪里都存在，在ENC-03上更加厉害一些，所以需要对陀螺仪的积分数据进行适当处理后才能使用，否则积分会越积越大。这就是下面所要讨论的。

◆ 如何将加速度计的数据融合进陀螺仪积分里

根据上面的说明，可以了解为什么要对陀螺仪积分进行处理了。但这里的陀螺仪积分还有另一个重要的物理意义，那就是这个积分记录了四轴飞行器倾斜的绝对角度（虽然不是直接的角度，但是只要乘一个系数就可以变成角度了），而不再是角速度。为了能做到稳定悬停，这个角度的重要性不可小看。

通常的做法是利用加速度计一个轴的偏转和陀螺仪积分建立对照关系，通过试验测出一个系数，根据这个系数对陀螺仪积分进行修正。当然这个修正也有讲究，绝不能直接替换掉陀螺仪的积分，通常都是将通过加速度计得出的积分“猜测值”缩小、限幅后加入陀螺仪的积分里。过大或过小都可能造成问题，需要反复试

验才能得出合理值。

在我的四轴飞行器里，我测出的陀螺仪和加速度计的对照关系是：当加速度计偏差=94时，陀螺仪积分=-696。这是在100Hz积分频率、加速度计数据放大6倍、3.3V参考电压下得出的。这个系数决定了加速度计积分猜测值的"斜率"大小。我把这个计算值缩小22倍，然后限制幅度为±5，最后才将数据加入陀螺仪积分里。

这部分不太容易看懂，不如换个说法：当陀螺仪积分=-696，也就是四轴飞行器倾斜了比如说60°（不要忘记陀螺仪积分的物理意义就是倾斜的绝对角度），相应的加速度计的这个轴也会有变化，虽然利用加速度计计算偏转角的正确方法需要用X轴、Z轴或者Y轴、Z轴做反正切，但X轴、Y轴还是和四轴飞行器的倾斜角有关系的。于是我们就可以利用这两个风马牛不相及的变量建立起关系，得出一个不大准确的修正参数。

在加入了积分修正代码后，陀螺仪积分就可以正确收敛了，如图3所示。更高级的做法是利用卡尔曼滤波算法将加速度计和陀螺仪数据进行融合，得出绝对角度，以此来进行姿态纠正。不过卡尔曼滤波比较复杂，数据延迟的问题我一直没能很好地解决，所以没有使用这种方法。

◆ 如何将遥控器的控制信号融合进来

对于刚完成部分代码的四轴飞行器来说，想要自主飞行是不可能的，最简单的方法就是利用遥控器进行操作。

方向控制基本都是通过直接增加对应电机的转速来实现。比如在我的四轴飞行器里，将遥控器的输入信号影射到-1到1之间，用一个浮点表示。比如我假设对于方向舵输入为+1，也就是在100%前进舵量的情况下，对应陀螺仪偏转12。将这个数值直接加入陀螺仪AD后的数据当中，这样一来，就可以直接利用P参数实现方向控制，不需要再单独写代码了。

不同的是，在遥控器操作时对于陀螺仪积分的处理。有的方法是在遥控器输入时完全不去理会积分，只工作在P模式下，好处是可以避免方向操作引起振荡，但有可能引起方向过度倾斜，这是我目前采用的方法。

另外一种方法是不管有没有遥控器操作，一直使用积分数据，这样可以保证四轴飞行器不会倾斜得太厉害。由于四轴飞行器必须倾斜才能实现前后、左右飞行，这种方法带来的影响就是飞行速度不能太快，而且如果参数不合适，非常容易引起振荡，因为积分的作用就是总想让四轴飞行器回到水平位置，不达目的誓不罢休。

◆ 如何调整PI参数

在有了这些基本的代码后，四轴飞行器基本已经可以飞了，下面要做的就是要找出合适的P和I参数。

对于PID控制器，P参数的意思相当于对一个瞬间变化的硬性反应程度。在我测试时，首先只设置一个P参数，I=0，然后拿住四轴飞行器对角位置的两个轴，旋转四轴，当我感觉我所用的力80%都被电机加速产生的升力抵消时，这时的P参数就差不多可以了。那种感觉就好像四轴飞行器下面有一个气垫把它托住了。

对于I参数的调整，我是这么做的：首先只设置I参数，P=0，然后倾斜四轴一边。由于I积分的作用，四轴飞行器会加快电机转速来抵消倾斜，这种调整是一直持续的，不像P参数那样，只有旋转的时候才有反作用力。逐渐调整I参数，感觉到倾斜比较小的角度，四轴飞行器就已经可以提供一个比较大的力往平衡位置拉的时候，I参数就差不多了。I参数过小可能导致四轴飞行器自动回到水平位置的时间过长，I参数过大可能导致四轴飞行器在发生很小的倾斜时就有较大电机转速修正，从而引起振荡。

下面还需要通过试飞不断微调这两个参数。我一般先固定一个参数，调整另

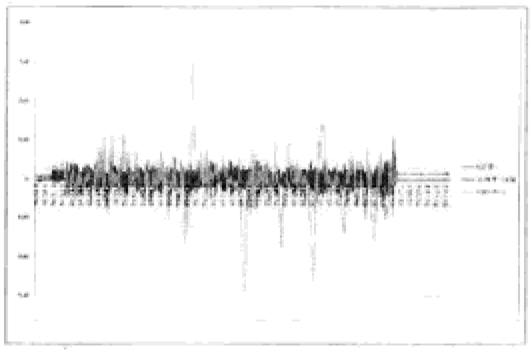


图4

一个参数。比如我固定I不变，调整P，由于P过大或者过小都可能引起振荡，所以我就以50为单位进行调整。先减小50，看振荡幅度有没有变化。如果不减时还勉强能飞，减了后，晃几下就一头栽地了，说明减50过小了，那么就加50，再飞。就这样一直找到一个比较合适的P参数。

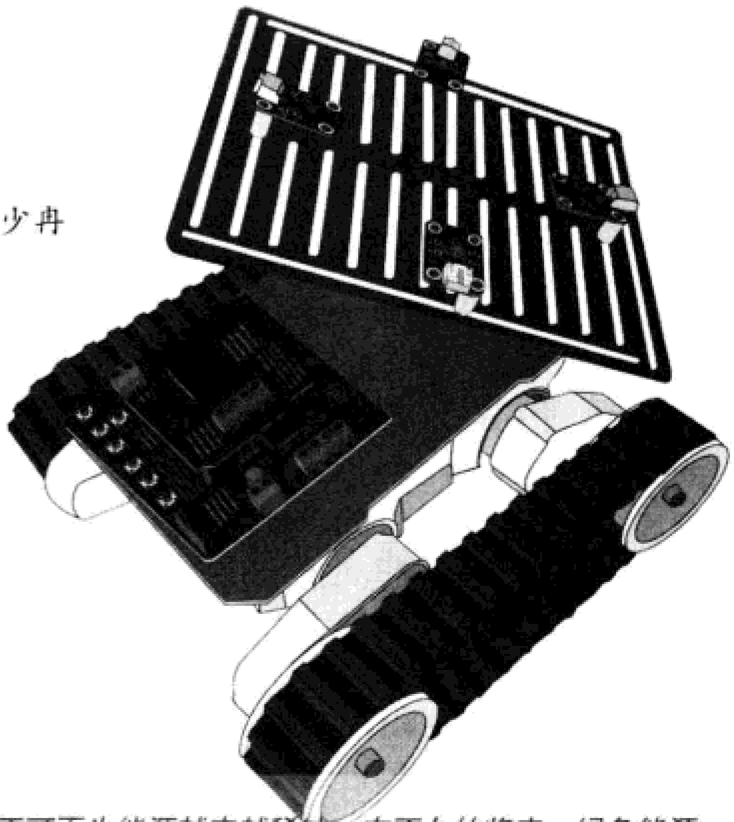
更进一步

通过以上的步骤，我得到了一个飞得不算太好，但是可以飞的四轴飞行器。在通过方向操作让四轴飞行器倾斜40°时，由于I的作用，可以在我松开遥控器操作杆的瞬间，让飞行器自动回到水平位置。

但是现在的问题就是四轴飞行器自己总是在正负10°之间晃来晃去，这是由于加速度计被振动干扰，引起陀螺仪积分被干扰的结果，如图4所示。可以看出积分非常乱，但是就像一般振动那样，总是差不多对称的。所以我就针对积分部分又做了一个移动期为50的加权移动平均，然后四轴飞行器也就稳定了。

不过这样一来，又出现了一个新的问题，那就是在距离平衡位置±15°的范围内，四轴飞行器的自动平衡修正不那么明显了。下面我想采取的步骤就是再对加速度计移动期为10后的数据继续做加权移动平均，以100Hz的速度来处理300Hz的数据。从Excel的计算结果来看，这样就可以在一个比较长一点的时间范围内给出一个相对准确的姿态了。

■ 本文附录可在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。



◎王飞剑 ◎插画：刘少冉

基于Arduino的小型太阳能收集装置

会移动的“向日葵”

现代社会越来越讲究资源的节约，随着煤、石油、天然气这些不可再生能源越来越稀缺，在不久的将来，绿色能源势必会成为主流能源。所谓绿色能源，也就是可再生能源，包括风能、太阳能、水能、生物能等。其中太阳能更是越来越受到人们的青睐，太阳能发电就是其中最普遍的一种应用。一般的太阳能收集装置都是固定在一个方向的，不能充分采集太阳能。笔者制作了一款名为“向日葵”的太阳能收集装置，它的最大特点就是装有转动机构，4个在太阳能板周围的光传感器随时检测周围环境光的亮度，经过代码处理，加上底下舵机的旋转，就能让太阳电池能板始终对着光最强的方向，以保证最大限度地收集太阳能。

笔者的太阳能收集装置基于Arduino制作，所用的元件都与Arduino兼容。Arduino是一个开放源代码的硬件项目，最大的优势就是具有良好的开放性和扩展性。用户在它的官网上可以随时免费下载电路图、源码和软件开发环境等，依据官方提供的PCB和SCH电路图，简化Arduino模组，来完成独立运作的微处理控制；也可以很方便地与传感器、各式各样的电子元件（红外线传感器、超音波传感器、热敏电阻、光敏电阻、伺服电机等）连接。Arduino所用的编程语言类似C语言，但结构更简单、更简洁易懂，对于机器人爱好者和电子知识尚欠缺的人群更加容易上手。

笔者使用DFRobot 的Romeo控制器对小车平台作直接的电机控制。首先准备好制作“向日葵”的材料，这里用到了4个光线传感器、2个舵机及固定支架、1块扩展板、1块控制板、1块多功能固定板、1部Rover 5小车（将向日葵固定在小车上，方便全方位监测）、1块太阳能电池板，最后别忘了电源（7~12V）。详细信息见表1。

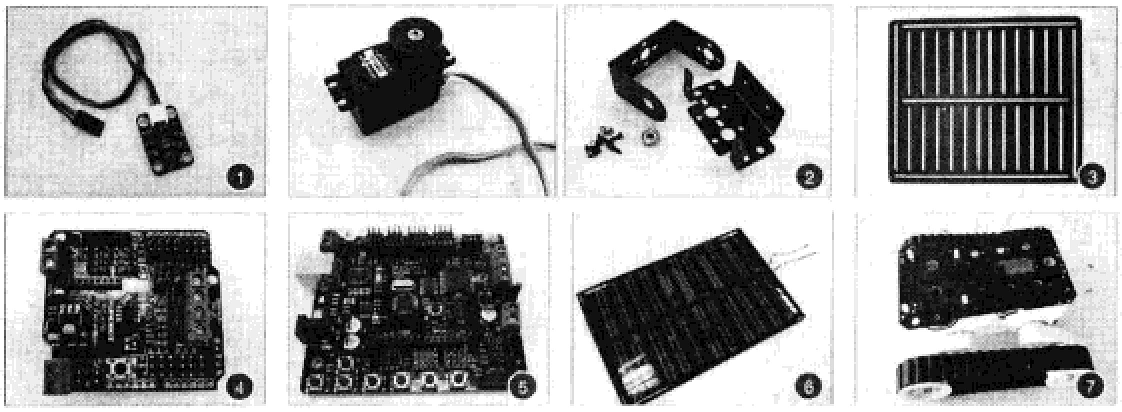
路虎（Rover）5履带小车

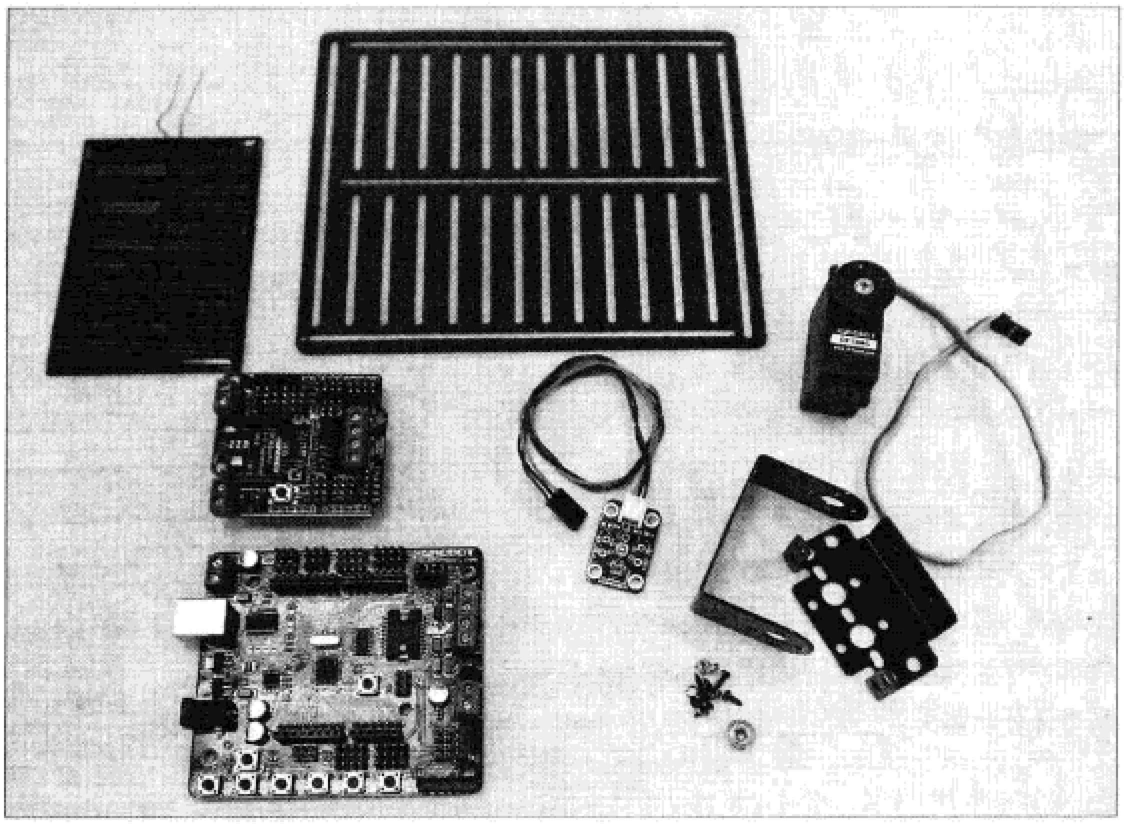
路虎5履带小车与一般履带小车相比不同的地方是，可以根据路面情况的需要，调节前后轮的高度。为了提高履带小车的越野性能及美观度，笔者将前后轮支架调节到了与地面形成15°左右夹角的位置。由于Romeo的工作电压在7~12V，并且履带小车的工作电压与Romeo控制器相近，所以使用了6节1.2V的充电电池作为电机和Romeo控制器的电源，当然，选用7.4V的锂电池也会是一种比较合适的选择。

表1 所需器件参考信息

元件名称	功能	所需数目（个）	参考价格（元）
❶DFR0026环保模拟环境光线传感器	基于环保型光敏二极管的光线传感器，可以用来对环境光线的强度进行检测	4	10×4
❷2自由度DF15MG舵机云台	含两个舵机和1个支架，用于多自由度机械臂、监控云台、双足机器人、多足机器人等	1	259
❸多孔原型钣金板	多功能固定板，用于传感器、电机等固定	1	59
❹Xbee传感器扩展板V5	一个传感器扩展板，能使大部分传感器轻松地和Arduino控制板连接	1	75
❺DFRduino Romeo 328控制器	基于Arduino的实用控制器，该控制器集成了电机驱动、键盘、IO扩展板、无线数串等接口，可方便地控制2个直流电机	1	300
❻太阳能电池板	用于收集太阳能	1	50
❼路虎5履带小车	用于安装舵机，以进行全方位检测	1	188
❽1.2V充电电池	小车和Romeo控制器的电源	6	90

以上器件可通过《无线电》杂志发行部及淘宝店购买

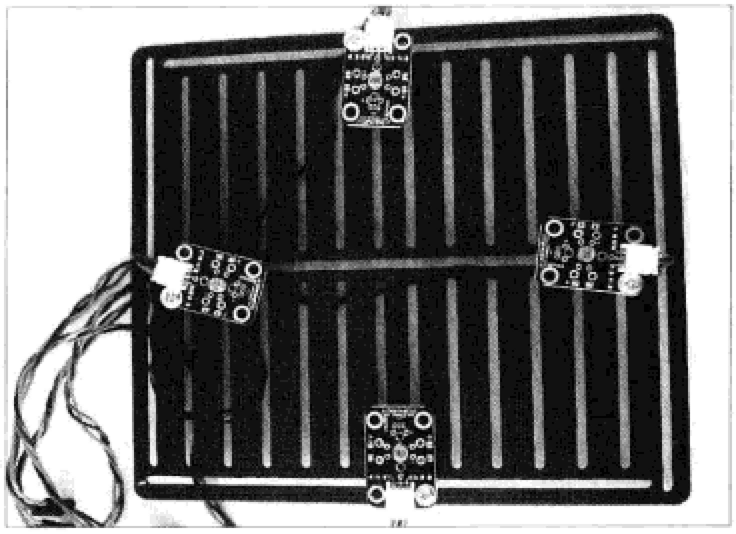




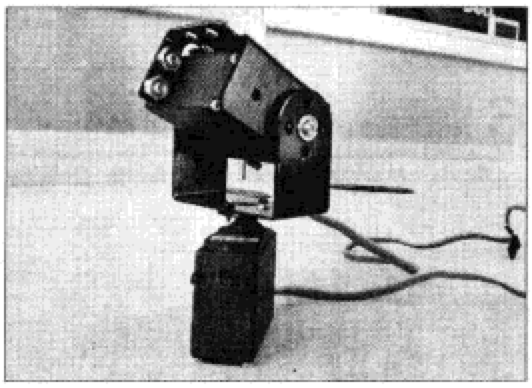
制作过程

准备好了上述材料就可以将这些元器件拼装起来了，制作步骤如下。

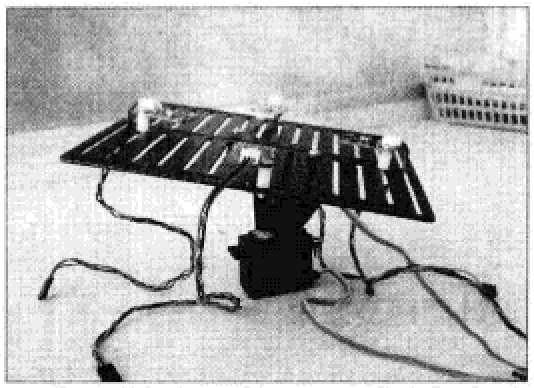
1 将4个环境光线传感器呈“十”字形固定在多功能固定板的4个边上，这样做是为了方便检测四周光线，尤其是在制作追光机器人时更体现了它的优势。



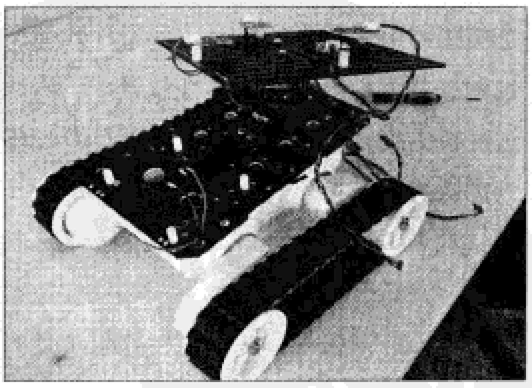
2 将2个舵机固定在一起。这2个舵机分别用来控制横向和纵向的旋转，这里所用的舵机的旋转角度是从0°到180°。考虑到横向舵机在做太阳能收集器时不需要180°旋转，所以只要设定一定的偏角即可。而纵向舵机因为要寻找光源，所以需要360°旋转，为此我将它安装在小车上，通过控制小车的运动使舵机能全方位搜索光源。



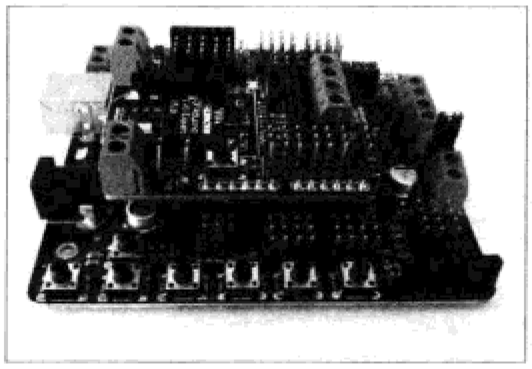
3 将多功能板与舵机固定在一起。



4 将舵机与小车固定在一起。

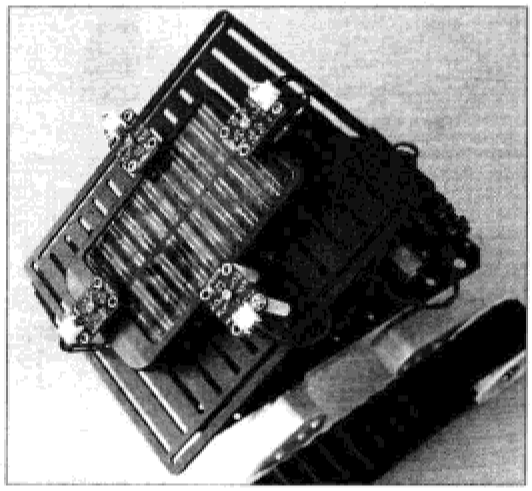


5 将Xbee传感器扩展板插在DFRduino Romeo 328控制板上。

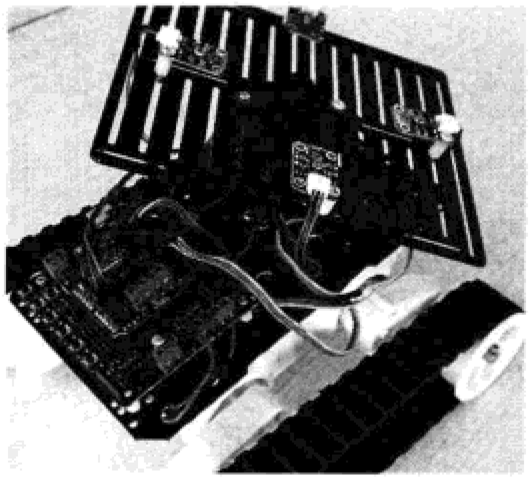


7 最后只要将一块太阳能电池板固定在多功能板上就可以了，这样一个小型的向日葵式的太阳能收集装置就做好了。

注：光传感器读取的是模拟信号，所以要将它们连接到扩展板的Analog口，0~5口可任意选择。而舵机是数字输出，要连接到PWM输出端，板子上有注明。写代码的时候要注意。



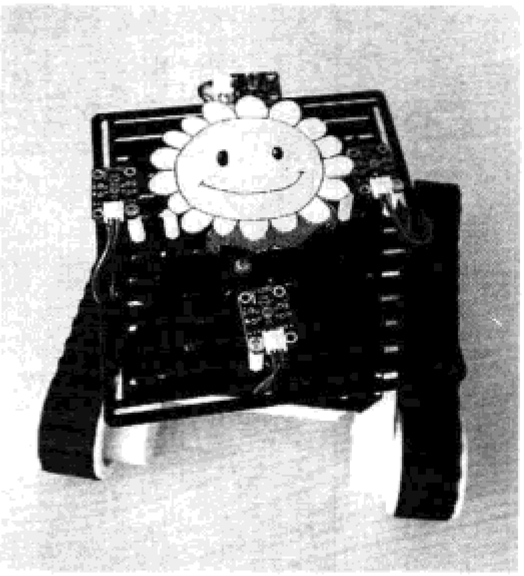
6 将DFRduino Romeo 328控制板固定到车上，然后将传感器和舵机的接口导线插到控制板的IO口上。



“向日葵”的另一应用——追光机器人

在正常的室内环境光下，用手电筒打一束光，产生光源并移动，这时“向日葵”就会跟着你的手电筒转动。

其原理类似上述的太阳能收集器，最大的区别在于此处不再做4个传感器的均值，而是将横、竖方向的光传感器两两求差。当一端的感应数值小于另一端时，就会向这一端偏转。我们不必放上太阳能电池板，可以随个人喜好在板上固定任何东西，比如插朵花、放个娃娃上去等，这样就能使机器人看起来更加生动了。

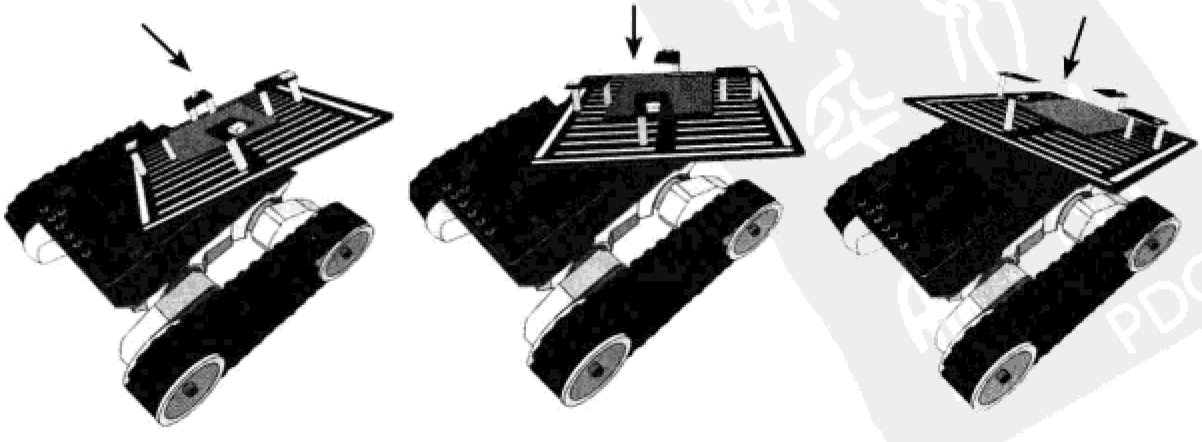


设计原理及效果

4个光传感器的作用是寻找测试环境的最亮点，也就是太阳所在的位置。经过测试，笔者所用的光传感器在光源变亮时，其值会相应减小。所以只要找到这4个传感器所采集到的信号值的最小均值，也就找到光源最亮点的所在位置了。再通过舵机的旋转加上电机控制，就可以扫描到周围光线的最亮点了。

将它拿到室外，每隔10分钟，“向日葵”会做一次检测，找到太阳所在位置进行定位并开始采集太阳能。如果加装将太阳能电池板采集到的电能输出到其他设备的功能，就会让“向日葵”变成很有实用价值的会移动的自动充电器。

示意图如下



■ 本文程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。

DIY 表情矩阵

◎小乐

本制作的目的是做一个8×8的显示矩阵，可以用来显示表情或者字符。DIY出来后装在工作的座位旁边，不同心情的时候按下按键能够显示不同的表情。

显示原理

通常要控制LED阵列的话，大多数爱好者会选择使用MAX7219进行控制，每片可以控制一个8×8的单色矩阵，直接向芯片里输入阵列编码就可以稳定显示了，编程也比较简单。另外，也可以使用两片74HC595锁存器进行行扫描显示，通过代码控制，将行数据输入锁存器，这样两片锁存器就可以控制一个8×8的阵列了。

在这个实验里，我没有使用外围的芯片，直接用89C51单片机来控制LED矩阵（89C51有32个数据引脚）。显示的原理也是行扫描，由于这个扫描时间很快，眼睛分辨不出来，所以阵列还是静止地显示着某个图形。

硬件准备

进行单片机应用实验，首先需要有一台单片机开发板和面包板。开发板的作用是用来调试程序，然后将调试好的程序烧入芯片。面包板可以代替PCB，用导线连接电路进行实物模拟。如果你选择的单片机支持ISP烧录，并且有ISP烧录条件的话，就可以使用计算机上的仿真软件来进行程序的烧写。ISP烧录条件是指备有USB转串口的转换线或者计算机具有串口，并且你的单片机系统支持ISP烧录。

进行单片机制作的时候不可避免地会遇到对编程语言的选择，所有的单片机都支持使用汇编语言开发。除了汇编语言，单片机还可支持其他高级语言。但用汇编语言写的代码可以最大程度对程序的运行效率、内存组织进行控制，缺点就是开发

表1 制作电路所需元器件

8×8 LED阵列	1个
STC89C52RC单片机	1片
51最小系统板	1个
7cm×5cm洞洞板 （上面分布了24行18列焊盘，间距为0.245cm）	1片
点触开关 （一定要买带盖子的，手感要好很多）	1个
FC插头	4个
FC线，实际制作了9cm和11cm的FC线	各1条
200Ω排阻与电池盒	各1枚
1.2V电池	4枚
排针3P，其中2P是电源接口，1P是控制（接开关）接口	
40Ω电阻1个（设计之初是没有此电阻的，但在调试过程中发现电源需要降压，否则低电平不够低，不亮的点会产生漏光）	

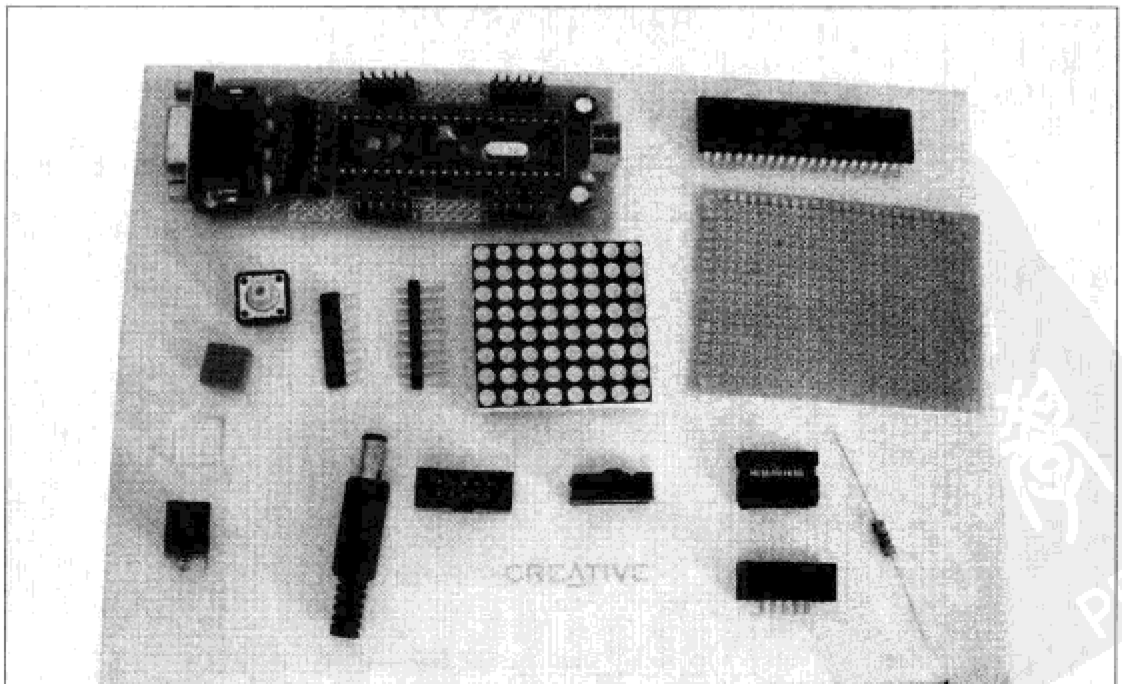


图1 制作所需元件

时间较长，而且经验不足的话还容易遇到各种问题。如果为了入门学习或进行快速开发，选择高级语言尝试比较好。本次制作是选用C语言编程。

在开发板上进行程序调试的时候，每次修改程序后都需要重新烧录。每个单片机都有一个烧录次数上限，一般可通过查询单片机官方资料获得。通常的单片机都支持成百上千次的烧录，足够进行几十项实验和调试了。有的开发板还可以从单片机将烧入的程序读出，如果你的芯片不支持加密或者使用已经被破解的加密方法，开发板可以从单片机上把程序读出来。你可以通过读别人的程序获得思路和灵感，但是读出来的程序都是汇编语言写的。

还需要说明的是，本实验使用的单片机为STC89C52，支持ISP烧录，并且我购买的最小系统也提供了串口烧录的条件。因为我的计算机没有串口，所以只能选择使用开发板进行烧录。

制作所需元器件见表 1，此外还需要准备其他工具，包括计算机、电烙铁、焊锡、松香、万用表、镊子、导线等。还有用于调试和烧录程序的单片机开发板（兼烧录器）以及杜邦线（彩色排线），如图 2 所示。

我再说明一下买到的LED矩阵和仿真实验里的阵列的区别。我买到的是一个24脚的阵列，没有说明书。用万用表测量后得知，实际只有16个脚起作用，16个脚和仿真实验里的对应关系如图3所示。接下来还需要制作FC线，把排线对着压脚穿进去，然后用老虎钳夹紧即可。这个线在老式的计算机里很常见，是用于连接主板和硬盘光驱的线，40个插口的叫做IDE线。不会做的话，先拿一条IDE线对比一下就明白了。本实验里使用的是10个插口的线，如图4所示，其中有2个插口空着没用，对应仿真图里连接阵列的两组排线。

制作过程

1. 在计算机上安装电路设计仿真软件Proteus及编程调试软件keil C51。编好程序代码并调试通过，然后设计出仿真实验原理图，如图5所示。用仿真软件进行仿真主要是为了在焊接硬件前测试电路和程序是否可行，这样可以节约实验成本和时间。

2. 把元器件都摆到板子上，进行合理布局和规划，达到最美观的效果，如图6所示。

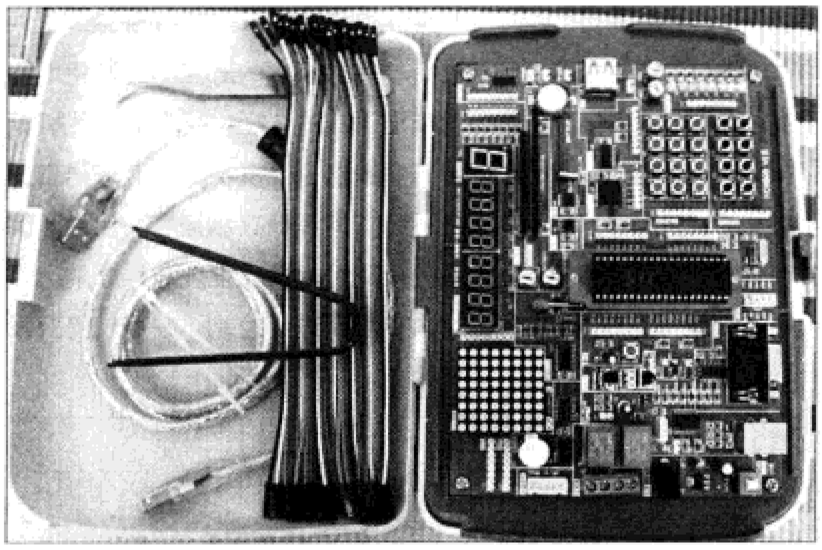


图2 单片机开发板

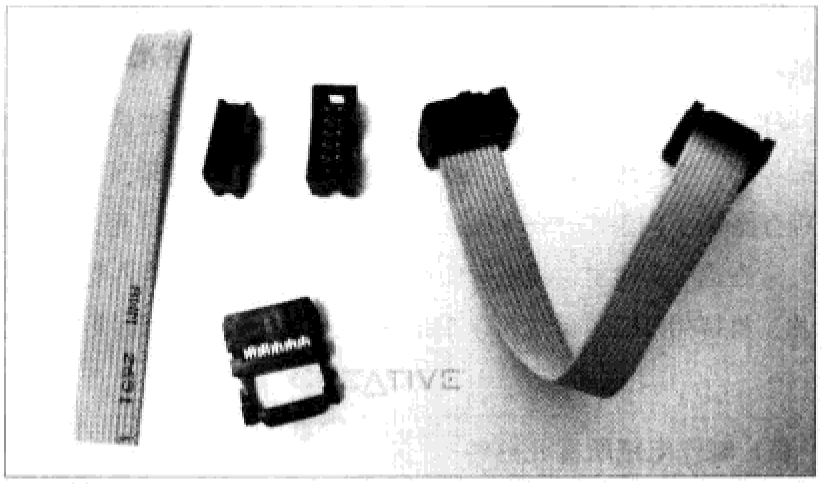


图4 制作FC线

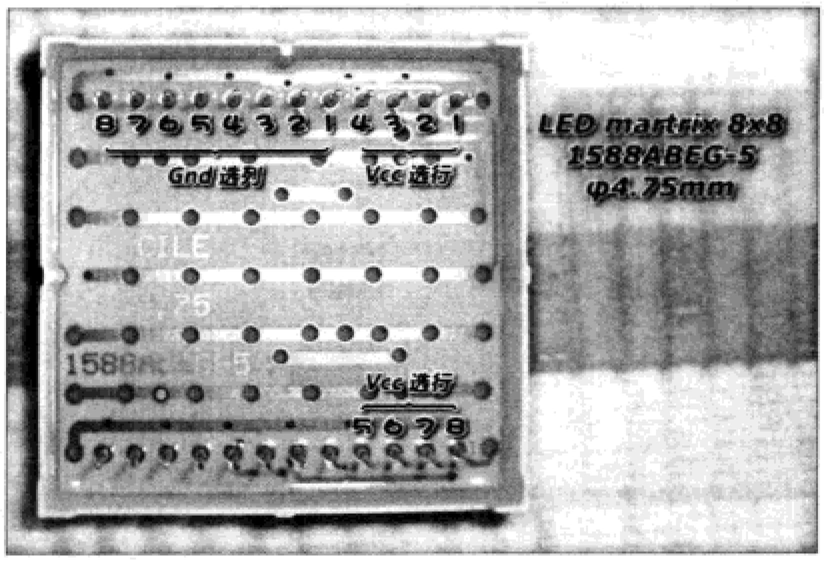


图3 LED阵列管脚

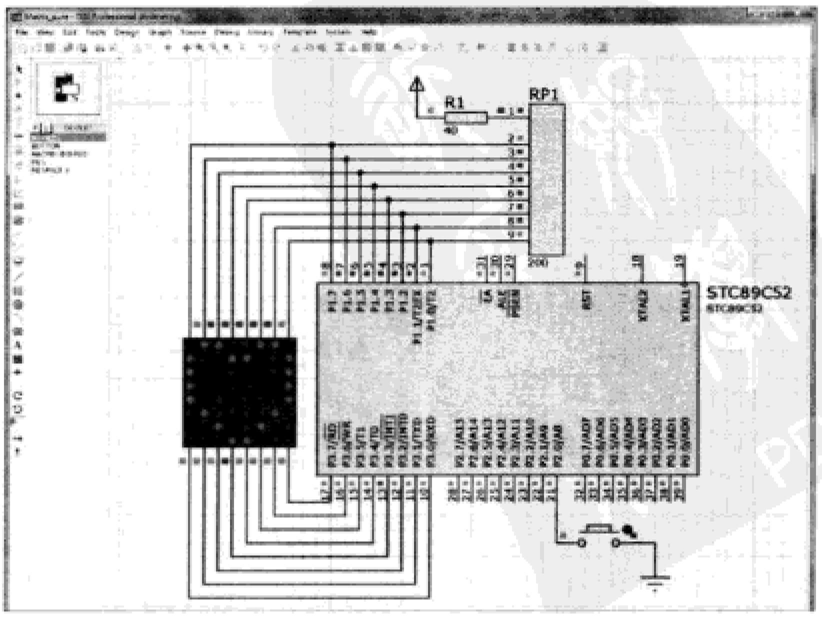


图5 Proteus仿真电路图

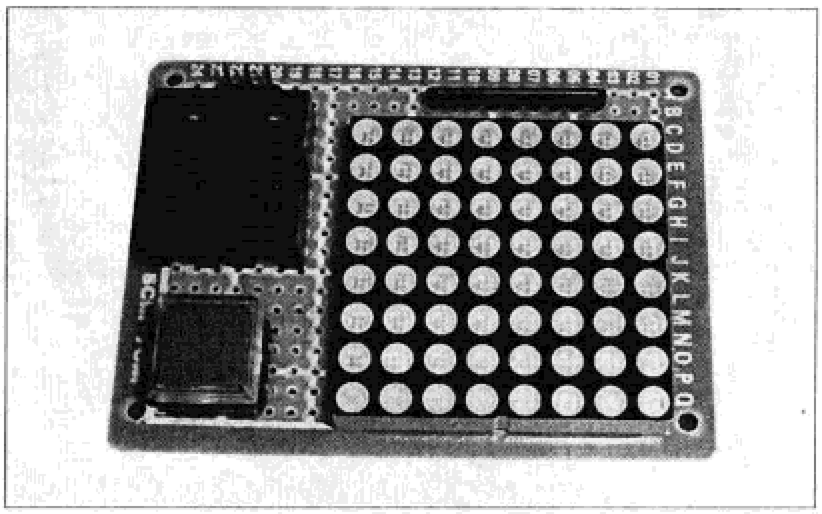


图6 在洞洞板上进行布局

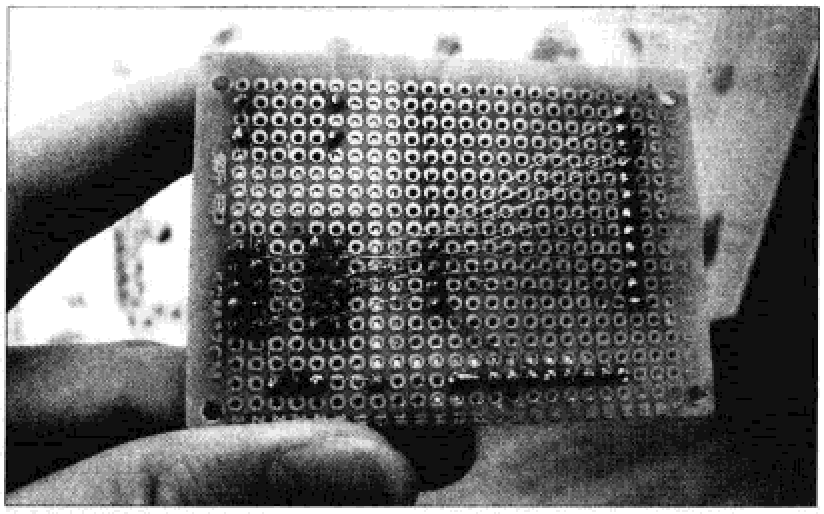


图7 焊接完成背面走线图

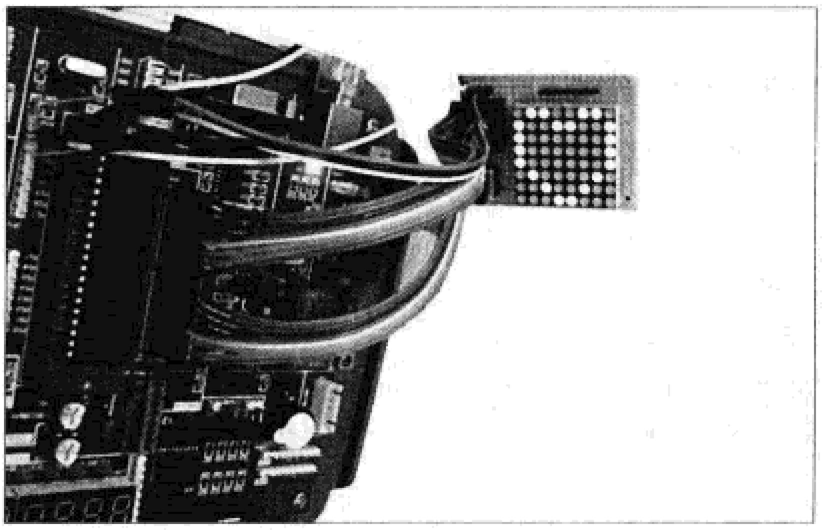


图8 连接开发板进行调试

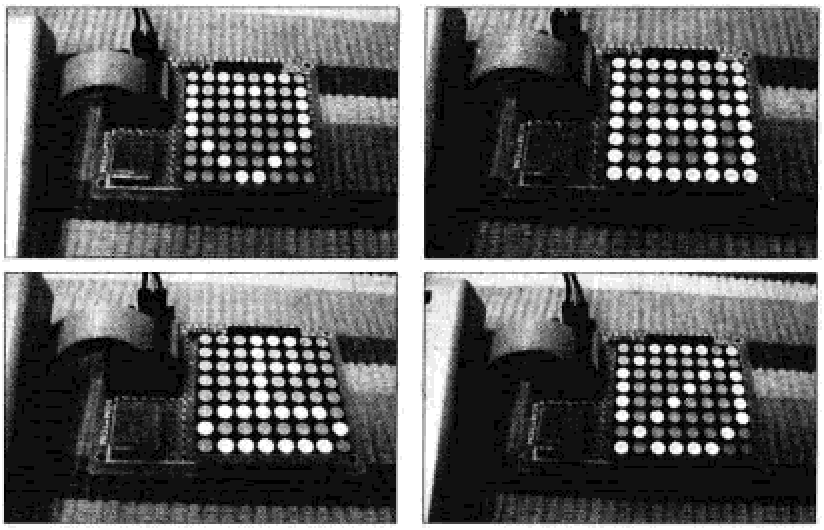


图9 表情演示图

3. 完成布局之后，把它们用导线都焊起来。本实验里焊接用的是线径 0.1mm 的维修线。使用维修线焊接的优点是，需要焊接的端点只用烙铁一烫就可以把漆皮烫掉进行焊接，维修线就当作剥了线端的导线使用。不过使用维修线当作导线连接也有个很大的缺点：由于元器件布局的原因，会导致出现很多交叉的线。维修线的漆皮非常容易被烫掉，而且漆皮是透明的，被烫掉漆皮的位置肉眼看不出。如果在导线交叉的位置有漆皮被烫掉了，一不小心就会把两条线短路在一起。使用带皮的导线（比如从网线里拆出的导线）或者直接使用 FC 排线来焊接会更容易。以免像我这样，在此步骤上花费了大量时间来排查短路情况。焊接完成的背面走线如图 7 所示。其实如果我在布局的时候，考虑周全一点，把两个 FC 插头放到 LED 阵列右边，布线的情况就会好很多了。但是我在焊连接线前，已先把元件都焊在板子上了，没法拆下来，所以只能硬着头皮焊了。不过，这也算得上是一次难得的经历！

4. 将焊好的板子通过导线连接到开发板上，烧录程序并调试，如图8所示。如果你在开发板上进行调试，推荐购买彩色的杜邦线来连接。因为它的色码顺序和色环电阻、电感的排列顺序是一样的，会给调试过程带来直观的帮助。

程序烧录后会自动执行，表情显示出来了，如图8所示。调试后，我发现电源上要串一个40Ω的电阻进行降压，图8中右下角的一个蓝色电阻就是起到降压作用的电阻。

写在最后

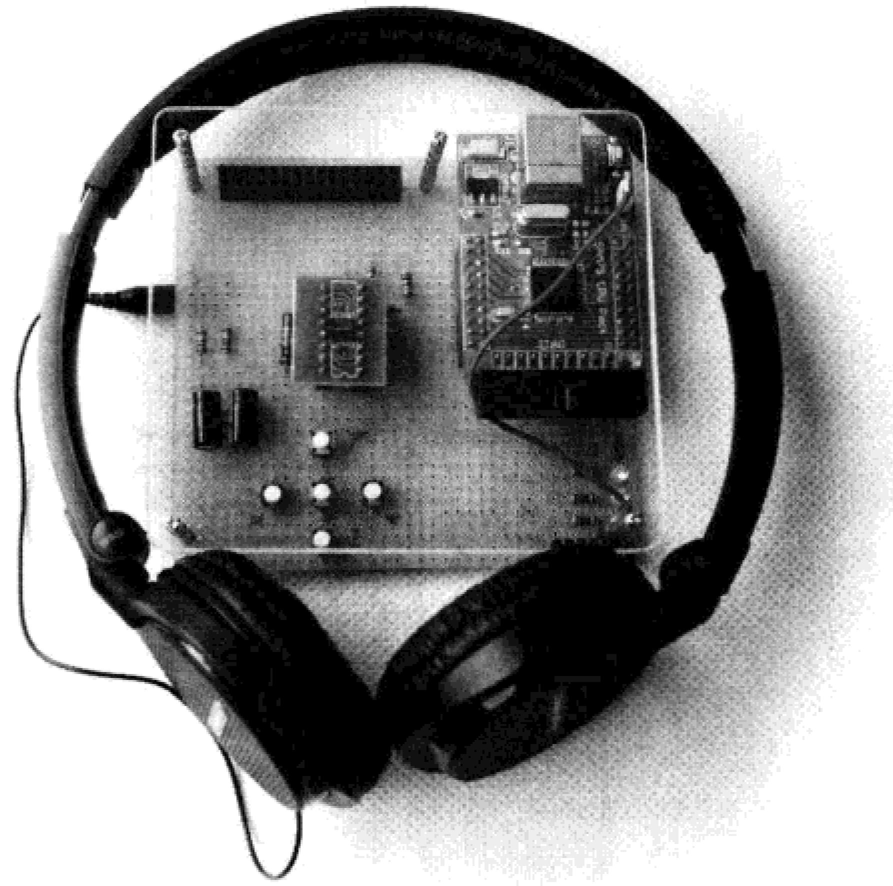
最后，把单片机从开发板上拿下来，插在51最小系统上，通电演示如图9所示。

文章中所涉及到的源程序、Proteus仿真实验及编译好的HEX文件，可以到http://xiaole.happylive.org/wp-content/uploads/2011/01/Matrix_pure.rar或者《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn下载。另外，我后来对程序稍做修改，增加了表情间切换时候的动画效果版本的程序到http://xiaole.happylive.org/wp-content/uploads/2011/01/Matrix_pure_v2.rar下载。观看视频演示请到http://v.youku.com/v_show/id_XMjM0ODUwNTcy.html。

本实验的开发采用的是典型的简易电子产品制作原型的开发步骤：原理图仿真、选择元器件、装配材料、焊接PCB、烧录程序、调试完成。整个产品的原理和实现都比较简单，不容易失败，可以作为单片机爱好者入门学习的练习作品。

ARM7 音乐播放器

◎张彬杰



在校学习期间，教我单片机的王老师时常提起ARM处理器。她提醒我说，我们是计算机专业的，应该研究嵌入式系统。起因是，我喜欢单片机，而单片机偏偏在我们学校是电子系的专业。把单片机玩转了，对于计算机专业的我，就显得偏离专业了。那时，我还是头脑一热，在网上买了一个AT91SAM7S64最小系统。但是，一直没有像样地玩它。只是断断续续地写了几个简单的程序，像学习51单片机一样学它。随着时间的推移，它被遗忘在一边了。不过这几天在整理零碎时，我又开始注意到它了。

这次制作的主题是——做一款能够媲美山寨CD机的音乐播放器。随着MP3、MP4、手机、PMP等便携播放器的出现，在市场上很少看到专门卖CD机的柜台了。想想也是，现在马路上很少看到有人拿个硕大的CD机听音乐。最主要的原因，估计是CD光盘尺寸偏大，携带不便，所以现在听MP3的人越来越多了。但是，不管怎样，CD的音质还是相当好的。还记得去年，我制作了一款M8音乐播放器，朋友听了后，直接评价那音质不行。我解释说，那是8位的播放器，还是被他鄙视了。太伤我心了。于是，我又琢磨着做一款新的播放器，希望它超过普通MP3的音质。这回做好后，又特意给那位朋友试听了一下，这次他评价说，这音质的确超过普通MP3了。下面我会和大家分享制作它的过程。

主要芯片介绍

这次制作的音乐播放器使用了TI公司的PCM1770，它是24位低功耗立体声音频DAC。由于它能够直接驱动耳机，所以选择它作为音频解码器。当耳机的阻抗为16Ω时，它的输出功率为13mW。PCM1770使用的电源范围为1.6～3.6V，支持标准的I2S音频接口。对DAC的操作是通过SPI接口实现的。它的音量也由软件控制，音量控制一共分为64个等级。

电路的处理器使用ATMEL公司的AT91SAM7S64。它有64KB的FLASH程序存储器，16KB的内部SRAM，是高性能的32 位RISC架构的ARM7处理器，最高工作频率可达55MHz。它一共有64个引脚，PIO控制的I/O驱动电流可以达到8mA，PA0~PA3可以达到16mA，但所有I/O电流之和不能超过150mA。这款处理器具有SSC同步串行控制器，支持I2S标准，也有SPI接口，可以设定8到16位的数据长度，每个SPI接口有4个片选线。这样，处理器与DAC解码器的数据传输、控制命令的发送都可以在硬件上连接实现。

可实现功能

这个制作完成后，将CD音质的WAV文件复制到SD卡内，文件必须存放在根

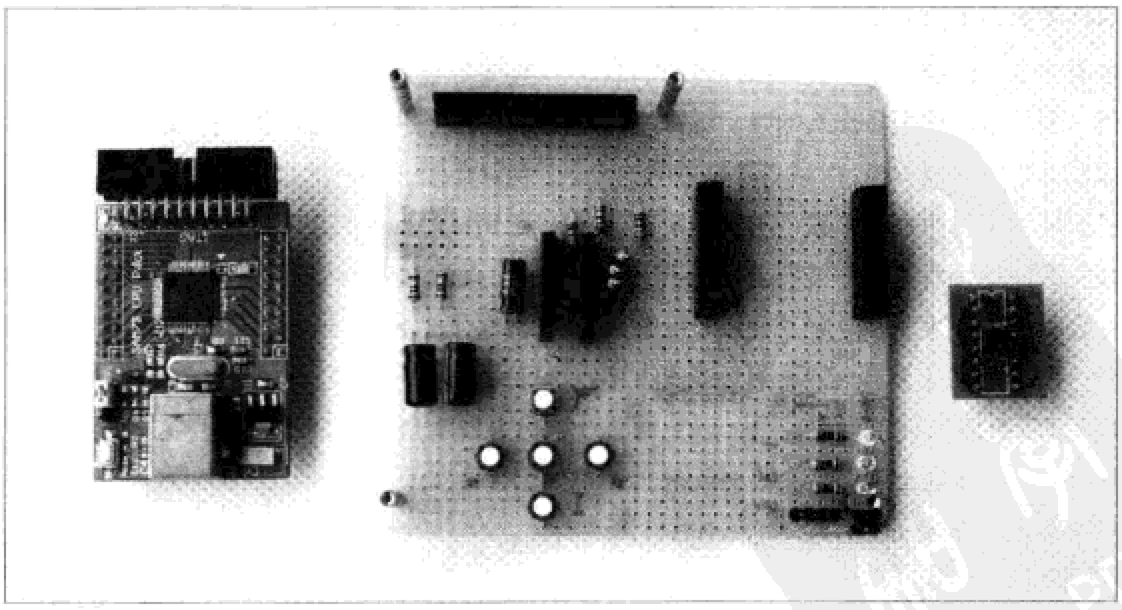


图1 制作所需的各部分实物

目录下。程序通过AT91SAM7S64的SSC串行控制器，把音频的数据流通过SSC接口传输到TI的音频DAC上。这样，耳机就播放出动听的音乐了。播放器使用普通的微动按钮控制，一共用了5个按钮，分别实现音量、选曲、播放、暂停等控制。

工作原理

整个制作，由图1所示的AT91SAM7S64最小系统（左边）、洞洞板（中间）和转接成DIP封装的PCM1770 DAC（右边）组成。

这款音乐播放器的工作原理并不复杂。主要由5大部分组成：

1. AT91SAM7S64最小系统，比51单片机最小系统稍微复杂些。

2. PCM1770 I2S音频解码器，用于驱动耳机或音响，播放音乐。

3. SD卡存储卡，存放44.1kHz/16位的WAV格式的音乐文件。

4. 5个普通的微动按钮，功能分别为：控制音量、前后选择音乐和播放/暂停音乐。

5. 简单的用稳压芯片将5V的USB电源转换成3.3V的电路工作电源。

音乐播放器的原理图如图2所示，可分为5大部分：左上角为稳压电路，左下角为5个微动按钮，右上角为SD卡，右下角为TI的音乐DAC芯片，中间的就是AT91SAM7S64的最小系统了。

1. 稳压电源

它使用1117-3.3V的稳压芯片，把USB接口的5V电源转换成3.3V。4个电容起到滤波作用。稳压芯片可以采用SPX1117-3.3V、LM1117-3.3V或AMS1117-3.3V。如果使用有极性的电解电容，不要粗心地把正、负极性弄反。

2. 5个微动按钮

这5个微动按钮排列成经典的上下、左右、中间的十字结构，它的控制功能大家很容易理解，分别是上下为音量控制、左右为切换歌曲控制、中间为暂停/继续播放控制。

3. SD卡

使用了它的SPI接口，直接和ATM7的SPI接口的NPCS0、MOSI、MISO、SPCK连接，在程序中我使用了系统时钟16.9344MHz作为SPCK时钟，这样它的传输速率才可以超过CD音乐格式标准的数据流速度。

4. TI的DAC

这是这个系统最关键的地方，它需要SPI接口控制它，同时又需要I2S接口给它提供数据流。它的SPI控制接口与

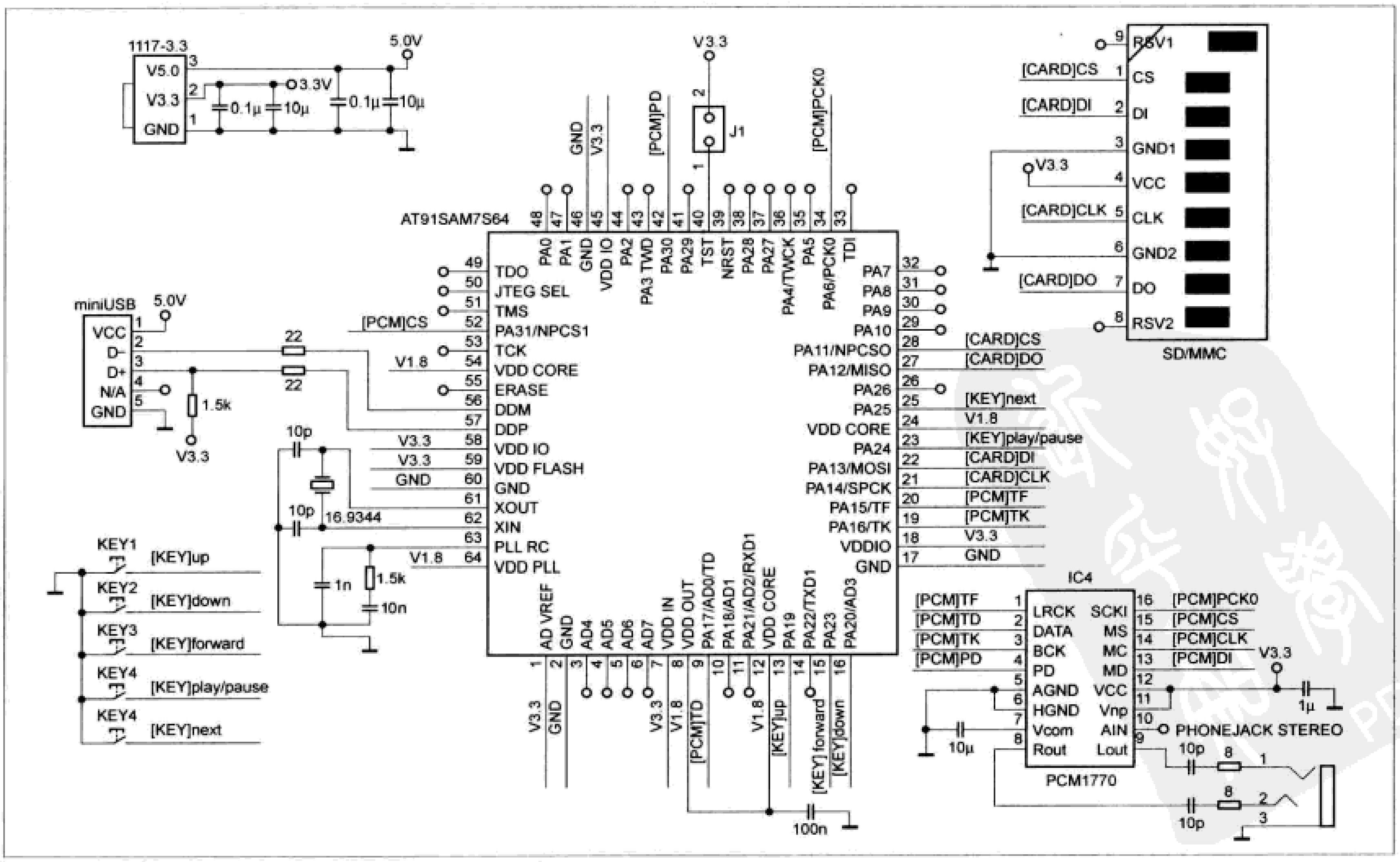


图2 电路原理图

AT91SAM7S64的NPCS1、MOSI、MISO、SPCK引脚相连，程序通过拉低NPCS0与NPCS1这两个引脚来片选SD卡或DAC芯片。在传输数据时，可以拉低不同的片选信号来指定传输的方向。DAC的LRCK、DATA、BCK接口分别与RAM7的TF、TD、TK连接。但由于DAC芯片还需要系统时钟，它可以是128fs、192fs、256fs或384fs（fs为音乐的采样率，如44.1kHz采样率）。所以，我通过ARM7的PCK0引脚输出384fs频率的时钟。最后，还可以通过控制DAC的PD引脚为0，让DAC休眠，减低它的功耗。

5. AT91SAM7S64最小系统

正确连接好处理器各内部控制器的电源，如VDDFALSH、VDDIO、VDDCORE、VDDPLL等，确认USB的D+上拉电阻到3.3V。在播放44.1kHz音乐时，确认使用的是16.9344MHz晶体（在下载程序时使用18.432MHz）。最后，在AT91SAM7S64的PLL RC引脚上连接 PLL滤波用的电容。这样，ARM7上电后就能运行代码了。

AT91SAM7S64的电源系统比较复杂，但还好仅仅需要单一的3.3V电压，即可解决所有供电问题。电源使用USB的5V电压，经过1117-3.3V稳压芯片稳压，然后给DAC、AT91SAM7S64、SD卡供电。AT91SAM7S64还需要1.8V的电源电压，好在它内部集成的电压调节功能，能输出1.8V电压。

AT91SAM7S64处理器只要正确连接好需要的2种电源电压（3.3V、1.8V），焊接上18.432MHz的外部晶体，并且连接上简单的USB接口电路，在物理上就能够下载程序了。注意，当使用18.432MHz的外部晶体时，烧录文件才能通过USB接口下载。但由于音乐播放器需要16.9344MHz的外部晶体，才能以正常的速率播放CD采样率（44.1kHz）的音乐。因此，下载好程序后，还需要切换晶体。这一步麻烦些。

程序首先初始化AT91SAM7S64的SPI接口和SSC接口，并使能PIOA引脚（连接按钮的引脚）和SSC接口（I2S接口）的中断。等初始化接口完毕后，程序才能通过已经正确配置的接口，初始化音频DAC、SD卡设备。等这些操作完成后，程序会通过读取SD卡的特定扇区，识别文件系统种类，并搜索根目录下的第1个音乐文件。最后，通过按钮控制，实现音乐的播放。

使用方法

先要格式化SD卡，使用FAT（FAT12与FAT16的合集）或FAT32都可以。然后，复制44.1kHz、16位的WAV音乐到SD卡上（注意，请复制到根目录）。插上USB电源后，按中间的播放/暂停按钮播放音乐（音乐播放器在上电时不能自动播放，还需要按下播放/暂停按钮才能播放）。

Tips1：AT91SAM7S64最小系统

什么是最小系统呢？在我看来，程序在处理器内能正常运行，并且，实物模型能看到运行时的效果，就是最小系统了。简而言之，最小系统能运行的关键是电源+时钟+复位。

1. 电源：AT91SAM7S64处理器需要的电源比较多，它需要1.8V的内核电压和1.8V的PLL锁相环电压。处理器内部集成了电压调节器，只要在VDD IN这个引脚输入3.3V的电压，即可在VDD OUT引脚输出1.8V的电压，它提供的电流可以高达100mA。当然，即便如此，ARM处理器的电源引脚还是比51单片机多很多。这是因为，AT91SAM7S64内部FLASH及I/O口电源已经单独引出到芯片引脚，我们应根据需要来连接。整个AT91SAM7S64芯片的电源需求如表1所示。

表1

VDDIN	电压调节器电源输入端	3.0~3.6V
VDDOUT	电压调节器电源输出端	1.85V，标称值
VDDFLASH	Flash 存储器电源	3.0~3.6V
VDDIO	I/O电源	3.0~3.6V或1.65~1.95V
VDDCORE	内核电源	1.65~1.95V
VDDPLL	PLL电源	1.65~1.95V
GND	地	

2. 时钟：AT91SAM7S64的时钟我们也要适当了解一下，它可以提供3种时钟源，分别是：芯片内部RC慢时钟、外部主振荡器时钟和锁相环时钟。

（1）SCLK：即慢时钟，一个片内集成RC振荡器，频率约32kHz，器件复位后默认使用此时钟，它是器件唯一恒定的时钟

（2）MAINCK：即主振荡器时钟，主时钟由连接在XIN和XOUT引脚上的3～20MHz晶体振荡器产生。

（3）PLLCK：即PLL锁相环时钟，将主时钟倍频后输出的时钟，PLL输出的时钟范围为80～200MHz。

我制作的这个音乐播放器需要播放的音乐通常是44.1kHz 、16位的，即CD光盘下复制下来的WAV文件。这就需要处理器的主时钟的频率为16.9344MHz。如果要播放不同采样率的音乐，需要选择多快的晶体呢？表2提供了不同晶体频率下，AT91SAM7S64处理器播放的音乐采样频率表见表2。

3. 复位：系统的复位按钮在这里我就省略掉了，大家也可以增加一个按钮到地，用于系统复位。不过，如果想要使用这个引脚的复位功能，还需要在程序中使能它的复位功能。

表2

采样频率，LECK	系统时钟，SCKI(MHz) 384f_s
48kHz	18.432
44.1kHz	16.9344
32kHz	12.288
24kHz	9.216
22.05kHz	8.4672
16kHz	6.144
12kHz	4.608
11.025kHz	4.2336
8kHz	3.072

烧录文件的下载与使用

1. 引导代码简介

AT91SAM7S64内部含有一段叫SAM-BA BOOT的程序，它在出厂时已被固化，不会被擦除，也不会被改变。在特定的条件下，它会被复制到内部FLASH中，这个复制的过程叫系统程序恢复。系统程序恢复后，下一次上电或手动复位时，SAM-BA BOOT代码就会运行了，它使用片上集成的USB或DEBUG串口与上位机通信，实现自编程。

2. 恢复启动代码

在PA0、PA1、PA2、TST这4个引脚保持高电平的状态下，上电并等待10s。由于上电时PA0、PA1、PA2默认上拉电阻使能了，所以这3个引脚可以悬空。而TST引脚内部下拉电阻使能，因此需要通过外部电路将TST引脚拉高。

10秒后当芯片再次上电时（记得恢复TST引脚为低电平），就会运行SAM-BA BOOT程序了。这时，把芯片的USB接口连接上电脑，电脑上就会发现新硬件，并自动安装驱动。当然，前提是你在电脑上已经安装了SAM-BA ISP下载软件（软件可以在www.atmel.com下载）。

3. 关于ERASE引脚

上电时ERASE引脚的上拉可以用来擦除内部FLASH的安全位，并且会在50ms的时间内完成。它的作用是使整个内部FLASH存储器的内容被清除掉。当完成这些操作后，安全位才会清除。

当你使用SAM-BA对器件编程后，执行了Enable Security Bit操作，即编程了FLASH安全位，那么下一次恢复系统程序前必须拉高ERASE引脚。

4. SAM-BA软件使用

首先，安装SAM-BA ISP软件，它会连同驱动一起安装的。这样，当把已经恢

Tips2：接口简介

I2S总线：

I2S（Inter—IC Sound）总线是飞利浦公司为数字音频设备之间的音频数据传输而制定的一种总线标准。该总线专门用于音频设备之间的数据传输，广泛应用于各种多媒体系统。

I2S有3个主要信号：

1. 串行时钟（SCLK），也叫位时钟（BCLK），在AT91SAM7S64里定义为TK，即对应数字音频的每一位数据，SCLK都有1个脉冲。SCLK的频率=2×采样频率×采样位数。

2. 帧时钟（LRCK），也称字段选择（WS)，在AT91SAM7S64里定义为TF。用于切换左右声道的数据。当LRCK为“1”表示正在传输的是左声道的数据，为“0”则表示正在传输的是右声道的数据。LRCK的频率等于音频的采样频率。

3. 串行数据SDATA，在AT91SAM7S64里定义为TD，使用的是用二进制补码表示的音频数据。

为了使系统间能够更好地实现时钟同步，还需要另外传输一个信号MCLK，称为主时钟，也叫系统时钟（Sys Clock），它的频率是采样频率的256倍或384倍。

I2S格式的信号无论有多少位有效数据，数据的最高位总是出现在LRCK变化后（也就是一帧开始）的第2个SCLK脉冲处。I2S格式的信号在接收端与发送端的有效位数可以不同。如果接收端能处理的有效位数少于发送端，可以放弃数据帧中多余的低位数据；如果接收端能处理的有效位数多于发送端，可以自行补足剩余的位。这种同步机制使得数字音频设备的互连更加方便，而且不会造成数据错位。

随着技术的发展，在统一的I2S接口下，出现了多种不同的数据格式。根据SDATA数据相对于LRCK和SCLK的位置不同，分为左对齐（较少使用）、I2S格式（即飞利浦规定的格式）和右对齐（也叫日本格式、普通格式）。

为了保证数字音频信号的正确传输，发送端和接收端应该采用相同的数据格式和长度。当然，对I2S格式来说，数据长度可以不同。

SPI总线：

SPI（Serial Peripheral interface）指串行外围设备接口，是一种高速的、全双工、同步的通信总线，是Motorola首先在其MC68HCXX系列处理器上定义的。现在越来越多的芯片集成了这种通信协议，比如AT91SAM7S64的ARM7处理器。SPI接口主要应用在EEPROM、FLASH、实时时钟，AD/DA转换器以及数字信号处理器和数字信号解码器中。

SPI的通信原理很简单，它以主从方式工作，这种模式通常有一个主设备和一个以上（含一个）的从设备。SPI的数据传输至少需要4根线，事实上3根也可以（单向传输时）。SPI设备的4根数据线分别为MOSI、MISO、SCLK、CS。

（1）MOSI：主设备数据输出，从设备数据输入。

（2）MISO：主设备数据输入，从设备数据输出。

（3）SCLK：时钟信号，由主设备产生。

（4)CS:从设备使能信号,由主设备控制。

其中，CS是控制外设是否被选中的，也就是说只有片选信号为预先规定的使能信号时（高电位或低电位），对此芯片的操作才有效。这就允许在同一总线上连接多个SPI设备。

AT91SAM7S64的SPI接口主要由4个引脚构成：SPCK、MOSI、MISO及NPCS。其中，SPCK是整个SPI总线的公用时钟，NPCS是从机的片选引脚，用于选择不同的从设备。在一个SPI通信系统中，必须有主机。

SPI总线一共有4种时序模式，SPI 控制器为了和外设进行数据交换，需要根据外设工作要求，设定输出的时钟极性和时钟相位。时钟极性（CPOL）配置对传输协议没有太大的影响。当 CPOL=0，SPI时钟的空闲状态为低电平；当CPOL=1，SPI时钟的空闲状态为高电平。时钟相位（CPHA）的配置，用于选择两种不同的传输协议，进行数据传输。如果CPHA=0，在SPI时钟的第一个跳变沿（上升或下降）数据被采样；如果CPHA=1，在SPI时钟的第二个跳变沿（上升或下降）数据被采样。SPI主设备和与之通信的外设备时钟相位和极性应该一致。

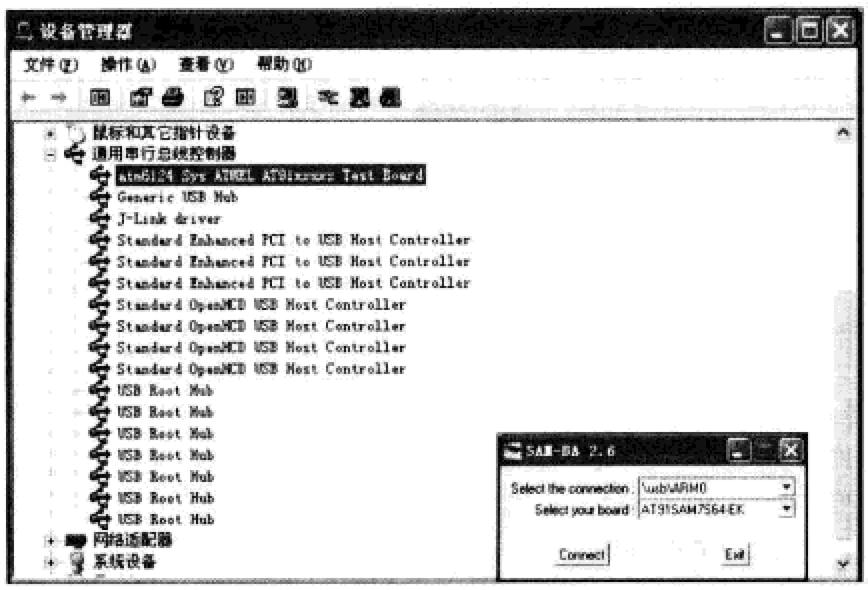


图3　　图4

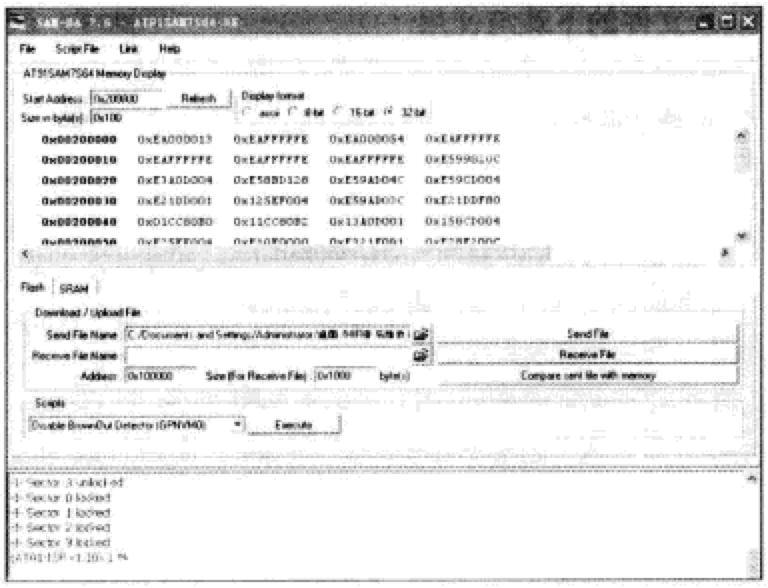


图5

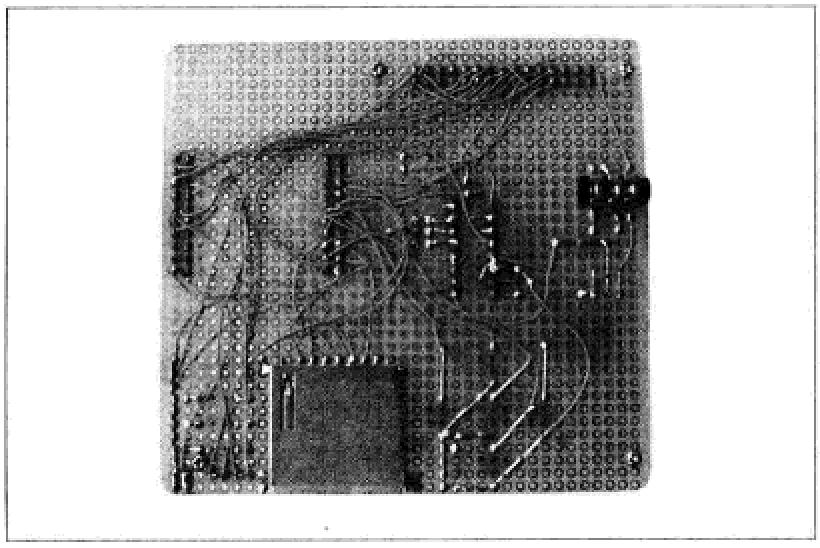


图6 用绝缘导线连接底板背面的线路

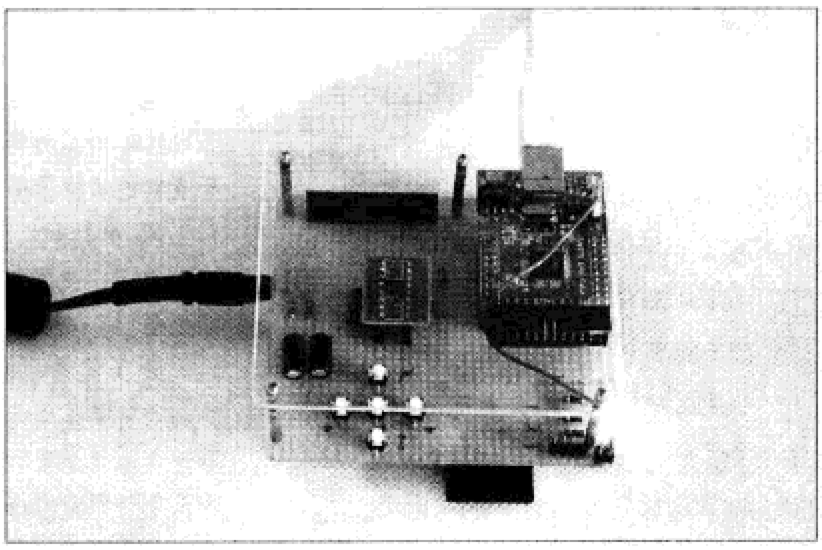


图7 用有机玻璃制作播放器的外壳

复启动代码的ARM7插入USB接口时，驱动即可自动安装，并在设备管理器里多出如图3所示的设备。

然后，双击软件运行，出现图4所示的运行画面。选择图4所示的连接方式“\usb\ARM0”和开发环境“AT91SAM7S64-EK”后，按“Connect”后连接。接着，烧录软件的主界面就会跳出，如图5所示。

然后，点击“Send File”按钮，选择烧录用的BIN文件。最后，点击“Send”发送即可。期间会弹出扇区解锁确认和扇区锁定确认对话框，点击“Yes”即可。

几秒后，程序就烧录完毕了。重新上电后，音乐播放器的代码就能成功运行了。

制作简介

其实，整个制作对刚学习ARM7处理器的人也不难。买一个AT91SAM7S64的最小系统，它的32个PIO口一般都会引出来的，并用插针连接。只需要自己做底板，焊接好插座，就能方便地合并了。

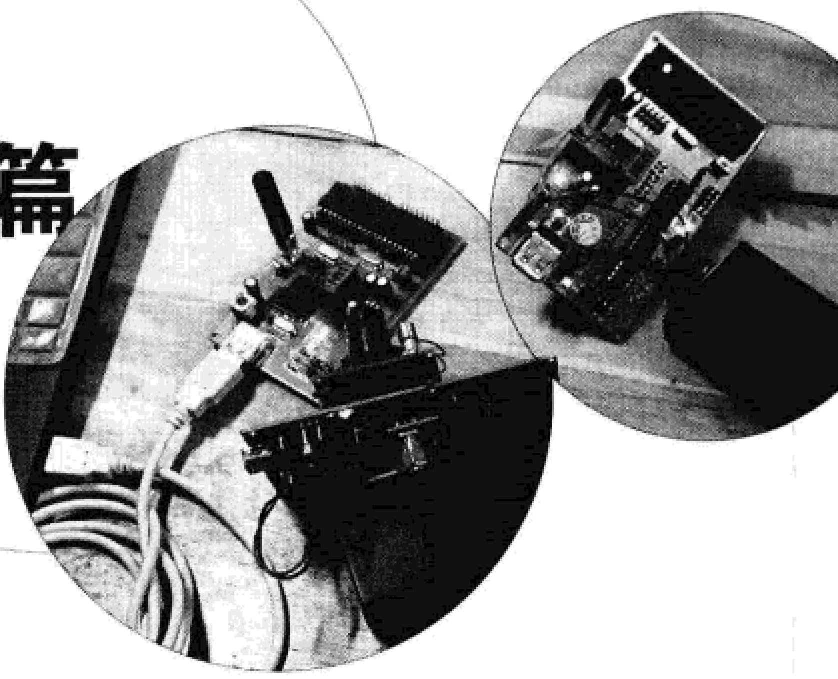
我做的这个底板是用万用板制作的，尺寸大约是10cm×10cm。仔细观察的朋友，还会发现，这个底板的功能不仅仅是特意用来做音乐播放器的，还可以做许多关于ARM7的小实验。

底板的反面我用绝缘导线连接线路，这也是我目前喜欢的做法，见图6。如果觉得难看，大家还可以自制PCB的底板，这样也能轻松焊接。

为了使自己的制作更美观，我又在网上买了片1.8mm厚的有机玻璃板。用小锯切割成10cm×10cm大小后，用砂纸仔细打磨。打磨好后在合适的位置上钻孔，最后用2mm的螺丝和对应的铜座固定，这个制作的外观就完成了，见图7。

大家会发现制作的正面还有一根飞线，这是由于我买的最小系统，3.3V的电源插针没有向下引出，只好拿了条杜邦线连接到底板了。

(注：本制作相关的单片机烧录程序、数据手册和视频效果可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。)



AVR点睛之颜色识别篇

——ATmega8驱动C3088 (OV6620) 模块实现颜色追踪及拓展应用

◎宋宏嘉　王静

笔者对数字图像处理领域的知识非常感兴趣，总想着用单片机实现有关图像处理的应用，但苦于没有合适的模块和资料，一直未能如愿。直到偶然间看到了John Orlando的AVRcam开源项目搭载C3088（OV6620）摄像头模块的应用实例，制作简单，而且摄像头模块价格便宜，性价比很高，用AVR Mega系列单片机就能够轻松驾驭。经过查找资料与不断实验，笔者最终成功实现了用ATmega8驱动摄像头模块来实现颜色识别，并把它简单应用于视觉测距，效果还不错。成果不敢独享，速速向各位爱好者汇报！相信读者经过尝试后，再也不会觉得用单片机做视觉处理的应用有那么难了。闲话不多说，下面就让我们开始为AVR配上明亮的眼睛吧！

图1所示是笔者购买的C3088模块（A）及自己制作的PCB系统。系统由2套子站（图中只给出了一套子站）及1套主站板卡构成，子站完成颜色识别，并通过无线模块将识别坐标发送至主站，主站接收子站数据，汇总计算出距离值，然后通过UART串口转USB，上传给计算机备份和显示。图1中B为主站板子，通过CH341A与计算机连接；C为子站板子，背面插接摄像头模块；D为子站电池盒；E为3V激光头；F为RF24L01无线收发模块。

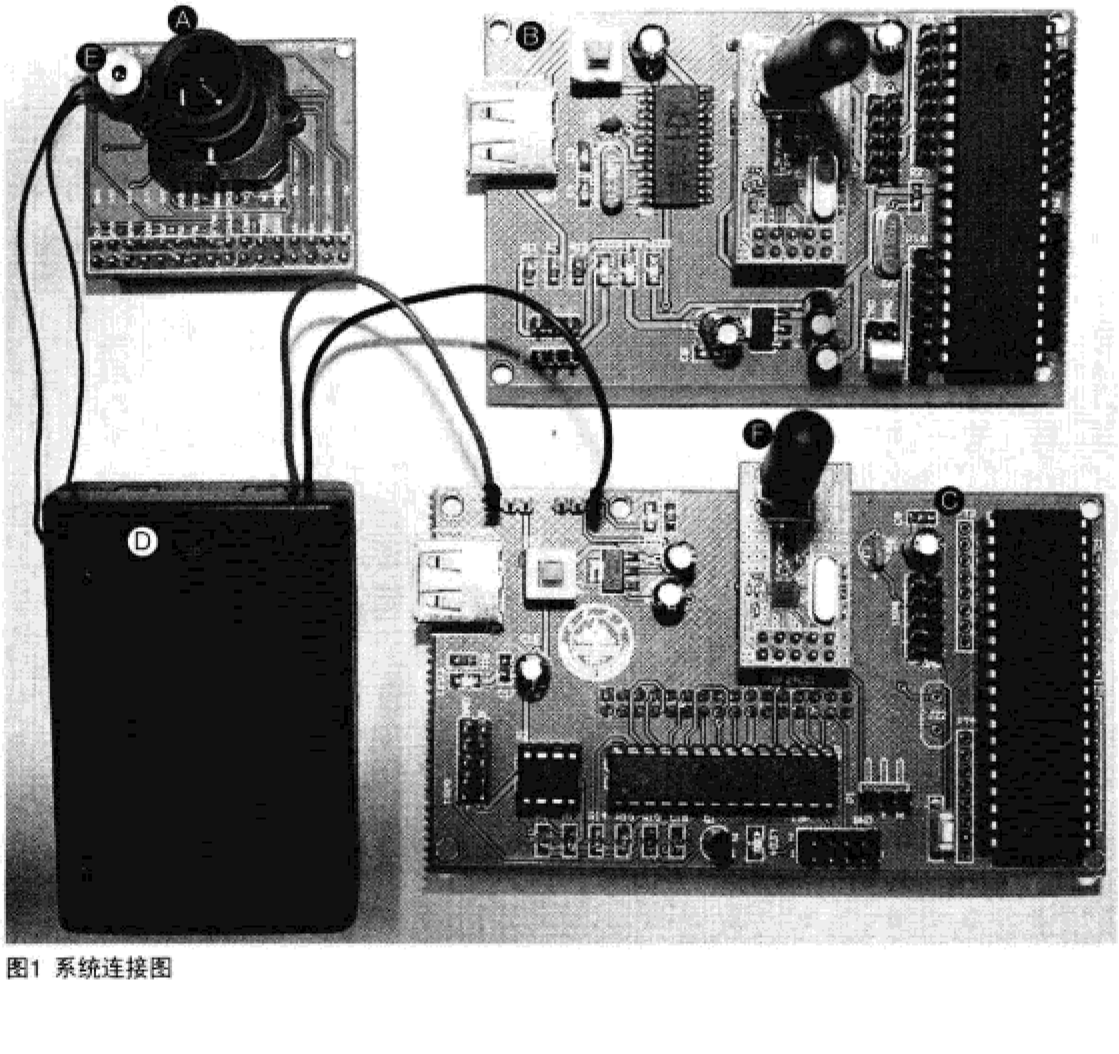


图1 系统连接图

背景知识

为了方便读者阅读，我在这里会介绍与文章相关的基础知识（限于篇幅，恕笔者只能着重说明，如果有读者对这方面感兴趣，请查阅数字图像处理方面的相关书籍）。我们所看到的图像都是由像素点阵构成的，它是图像的最小单元，所以图像处理的关键——就是处理好像素。而要呈现彩色的图像，就要将红（R）、绿（G）、蓝（B）三种不同的“点”根据情况排列。因为色彩的“浓度”（灰度值）不同，就会呈现出不同的效果。在典型 Bayer 颜色模式中，如表 1 所示，每个方格代表一个“点”，4 个点代表一个“像素”，那就是我们能够看到的一个彩色的点。

此文提及的OV6620摄像头就是依据这个原理采集图像的。那如何实现颜色识别呢？所有的像素数据（也就是图像

表1 Bayer颜色模式

	1	2	3	4	5	…
Line 1	R	G	R	G	R	…
Line 2	G	B	G	B	G	…
Line 3	R	G	R	G	R	…
Line 4	G	B	G	B	G	…
…	…	…	…	…	…	…

灰度值信息）都被缓存在摄像头的RAM中，我们只需要通过单片机把这些数据读取出来，加以判断即可。基本思路是单片机依次判断每个像素的灰度值（8位数据），如果在某值域内就进行标记，不在此范围就不做处理，最终将标记的像素区域坐标统计出来。以上内容可能看起来生涩难懂，但都很重要。不过也不要担心，因为实际的模块只需要简单的连接就可以工作了。

简要说明一下视觉测距基本原理。激光束被认为是理想的平行于摄像头中心光轴的光束，投射到目标物上（可以设此激光点为区域内的最亮点），经目标物反射后被摄像头捕获，那么这个点的位置在图帧中的位置是确定的。然后只需要计算这个点距各边框的距离，就能计算出目标物离摄像头的距离。我们设置的是测试5~10cm的距离，最远能测试多远我还没有试过，不过测距功能肯定是有一个范围的。

硬功夫

下面详细介绍硬件连接及基本原理。系统子站的基本控制电路由ATmega8、ATtiny12及C3088摄像头模块组成，外加一些阻容元件，非常简单，如图2所示。

摄像头模块C3088由I²C总线驱动，进行寄存器写入及控制，数据通过Y0~Y7和UV0~UV7端口读出，这里我们只用到Y4~Y7和UV4~UV7这8个端口。作为Y/UV数据总线，Y4~Y7连接到单片机PC0~PC3，UV4~UV7连接到PB0~PB3。Y代表亮度信号，UV代表色差信号，这样连接可以获得摄像头中的红、绿、蓝数据信息。以下对摄像头模块其他引脚的连接做简单介绍。

◆ PIN11为SDA（数据线），PIN13为SCL（时钟线），用I²C总线接至ATmega8的PC4、PC5，ATtiny12的PB2、PB1。

◆ PIN12为F0DD，时钟输出端，在配置了摄像头内部寄存器后，该引脚输出17.7MHz的方波，将其连接至ATmega8的XTAL1脚（即时钟输入脚），作为单片机的外部时钟输入，这样做是为了达到采样

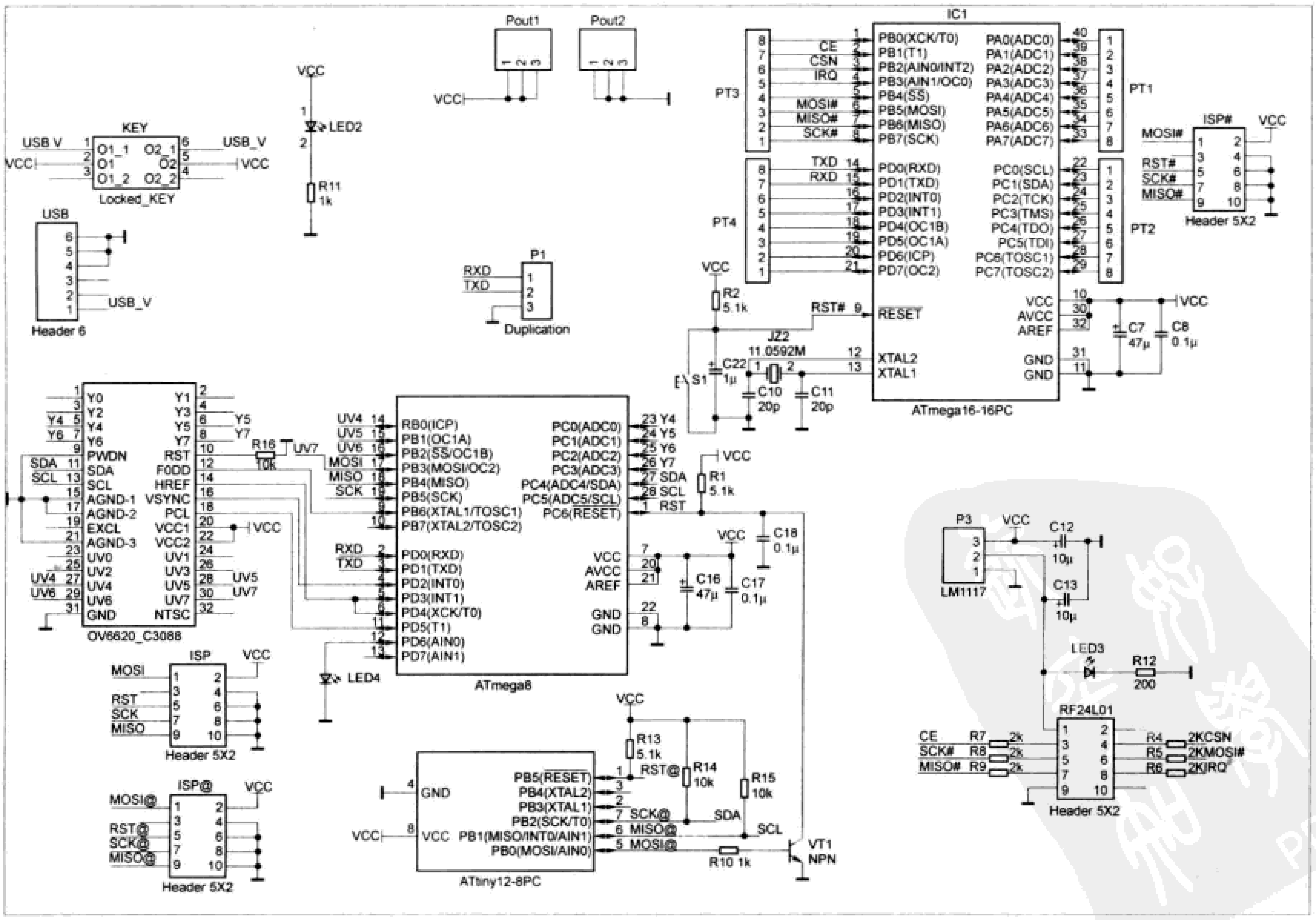


图2 系统子站控制电路

处理同步的要求。

◆ VSYNC为竖直同步（场同步）信号，每次采集一帧新的图像前，它会产生一个高脉冲，此引脚接至ATmega8的INT0（外部中断）。

◆ HREF为水平参考（行同步）信号，每采集一帧中的一行信号前，该管脚会产生一个高脉冲，接至ATmega8的INT1（外部中断）及T0（外部输入计数器0）。由于摄像头分辨率为176×144，如果程序配置准确，当计数达到144时，它会产生溢出中断，表示一帧图像完全采集（即共有144行）。

◆ PCLK为像素时钟信号，每采集一个像素产生一个脉冲，所以一行数据共产生176个脉冲，接至ATmega8的T1（外部输入计数器1），满值溢出时表示一行数据采集完全。

其他引脚请按图2中的配置连接即可。

这里还需要说明，电路中使用了ATtiny12单片机，只有8个引脚，作为辅助处理器，目的是为了在ATmega8工作前初始化摄像头，使摄像头模块F0DD引脚输出17.7MHz方波为ATmega8提供系统时钟，使得摄像头和ATmega8共用时钟达到同步处理的效果。ATtiny12的PB0管引接三极管VT1，将三极管做“开关”，用于控制ATmega8复位。若PB0输出高电平，三极管导通，则ATmega8的PC6引脚（复位脚）接地，ATmega8将处于复位状态；若PB0输出低电平，三极管截止，ATmega8开始工作。电路中的R14、R15用于I^2C总线上拉电阻，VT1是9013 NPN三极管，用于控制ATmega8复位。另外两个10脚排针为ISP编程电路。这里说明一点，ATtiny12芯片可以用ATtiny13或者ATtiny12L代替。

另外，主站的电路如图3所示，其中我们用到了USB转UART的模块，因为我们没有TFT的液晶显示，需要借助计算机显示图像调试的结果。这里推荐使用CH341A芯片，电路十分简单，而且目前WCH官网已经提供了V1.5版本的驱动，兼容Windows 7操作系统。注意，串口TXD与RXD端口和单片机需要交叉连接。

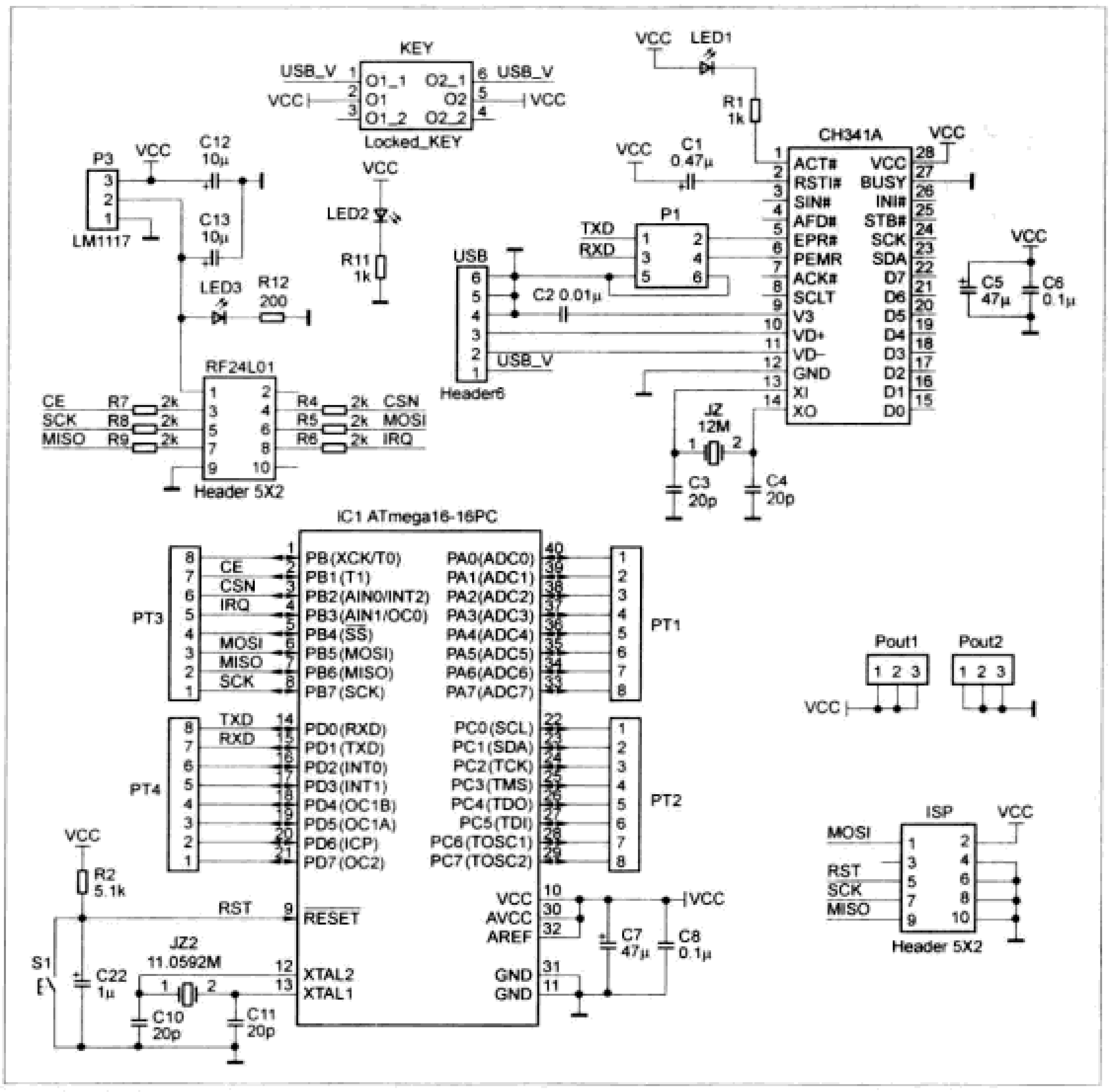


图3 主站电路图

根据给出的子站和主站的电路图，可以看出系统的工作过程为，子站由电池盒D供电，ATmega8驱动摄像头，ATmega16通过串口与ATmega8相连，用于追踪控制及获取识别的颜色块坐标值，另外ATmega16还与RF24L01（无线传输模块）连接用于无线传输串口数据，发送至主站。ATmega16接普通激光头（这里和普通LED接法一样），在进行颜色识别前打开激光头，用于提供“红色”亮点实现追踪（因为本系统设置为追踪“红色”）。主站由ATmega16、CH341A及RF24L01组成，用于接收无线信号并把数据转发至上位机。RF24L01为双向模块，既可以当做发送端也可以当做接收端使用，具体需要可根据程序调整。在板子焊接过程中，只需要注意LED、三极管等元件不要长时间加热，以免烧坏，其他方面没有特别要求。

在调试中发现，当RF24L01模块供电电压为2.7V时，工作比较稳定，但当电压升到3V时，就出现时而传送、时而中断的现象。这里建议大家使用LM1117将5V降到3.3V后，再加一个整流二极管降压到2.7V左右，效果还不错。另外，最好给ATmega8、ATmega16、ATtiny12外加复位上拉电阻，阻值5.1kΩ即可，这是为了防止出现不能烧写程序的问题。USB asp线不要太长，否则容易出现ATtiny12的Flash校验错误。在单片机程序烧写时，建议将ATmega8的熔丝位修改成“外部时钟,启动时间6CK+64ms[CKSEL=0000 SUT=10]”，但要注意，刚开始调试的时

图4 绘制PCB上的图标实际效果图

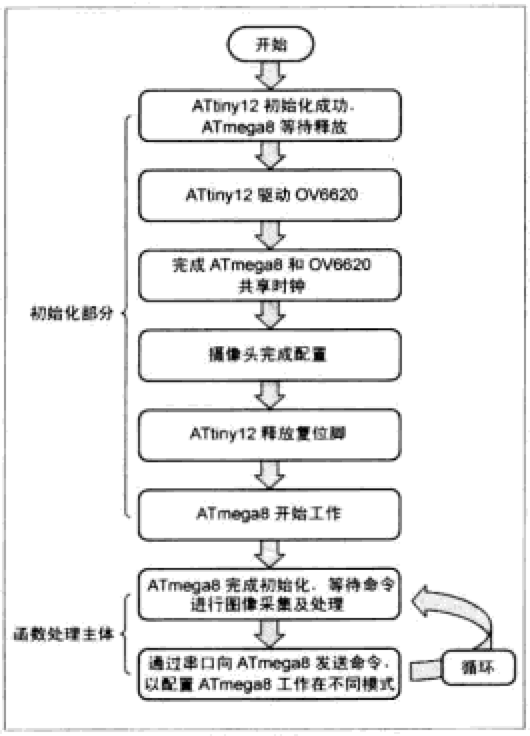


图5 程序流程图

候不要修改，默认使用内部时钟，因为普通通用型USB asp的ISP编程器不能提供时钟，如果修改成外部时钟，就无法再烧写程序了，此时需要用信号发生器或者拿另一片单片机的时钟输出（XTAL2）来作为ATmega8的时钟输入（XTAL1），再进行程序烧写。

许多初学者对“熔丝位配置”很是头痛，不敢轻易尝试，担心“锁死”单片机，其实完全没有必要，因为一般情况下，修改最多的就是“时钟源”。在AVR系列及其他系列的单片机中，一般可分为外部时钟、内部RC振荡器、外部RC振荡器、外部晶体四类，让多数初学者疑惑的是这四类配置中还有许多小分类，具体区别就是启动时间及晶体频率。对一般应用而言，选择最长启动时间（16CK+64ms），然后根据具体时钟要求选择相应频率即可。但要注意，“使能ISP编程”不要修改，别的都不用担心，即使简易编程器无法再烧写程序了，也可以去借“超级编程器”完成“解锁”，恢复“默认熔丝位”。

画PCB的时候，额外向大家推荐一款名为“BMP to PCB”的小软件，由网友SZY编写，可以将BMP图片转化成PCB文件丝印层图片，用于在PCB上添加个性文字及图标，笔者用该软件制作的变形金刚图标及在PCB板子上的效果图，如图4所示。从此，经过我们添加个性化的图案，PCB不会再显得那么“单调”了！

软功夫

最关键的就是软件编程部分，这里将详细说明。程序流程如图5所示。

程序说明如下：

1. ATtiny12初始化，PB0输出高电平使ATmega8处于复位状态， ATtiny12通过I^2C总线驱动OV6620，在寄存器地址0x13处写入0x05，让UV7脚处于高阻态（注意UV7接至ATmega8的PB3引脚，该引脚用于ISP编程，所以为不影响编程，需要在开始时释放此线），完成后，在寄存器地址0x3F处写入0x42，强制让FODD引脚输出17.7MHz方波（目的是使ATmega8和OV6620共享时钟）；

2. ATtiny12的PB0脚输出低电平使ATmega8开始工作后，ATtiny12无限等待；

3. ATmega8初始化包括配置串口、I^2C总线接口，开始等待命令进行图像采集及处理；

4. 用户通过串口（上位机或者其他单片机，如本系统中的ATmega16）向ATmega8发送串口命令（为3个字节，前2个字节为英文字母，后1个为回车，3个字节均以十六进制数发送），以配置ATmega8工作在不同模式。

ATmega8程序功能有3种模式，空闲模式、帧转存模式（用于上位机调试）和颜色追踪模式。

帧转存模式在接收到“DF”命令后开始，ATmega8会将采集到的一帧图像一行一行地通过串口发送回去，完成一帧后结束发送，上位机接收数据后便可重新生成图像，用于观察及选定所追踪的颜色。

颜色追踪模式在接收到“ET”命令后开始，除非接收到“DT”命令，否则一直发送追踪颜色的区域坐标值，上位机及其他单片机便可以根据该坐标值读取追踪结果，进一步处理。

在调试时，需要下载安装一款名为“AVRcamVIEW”的软件（由John Orlando编写），笔者使用该软件拍摄的图像如图6所示。注意，如果图像不清晰，需要扭动摄像头前面的镜筒调节焦距，大约在0.5cm处比较合适。

在获取一帧图像后，用鼠标选择需要追踪的颜色，并把该颜色添加到追踪色彩表中即可，再点击“Enable Tracking”开始追踪。通过串口监视软件，可以观察到所有传送的字节数据，在颜色追踪时，如果只追踪一种颜色，比如说红色，那么发送的一次有效结果格式为“0x0A 0x01 0x00 A B C D 0xFF”，“A B C D”是4个表示坐标的十六进制数，分别代表一个矩形框的以左上角为原点计算的*X*、*Y*坐标值及以右下角为原点的*X*、*Y*坐标值，同样可以根据这些坐标值计算出颜色块中心点坐标。0x0A、0xFF分别为数据头及数据尾，效果如图7所示。

因为颜色识别受光线影响严重，所以在调试及实际应用中，一定要注意，可以采用普通发光LED进行光照补偿，具体细节还需要读者仔细阅读程序源代码。

台下十年功

有了颜色识别，读者要是有兴趣的话，还可以做很多小应用，比如在手指上贴上

ST推出创新型太阳能充电器IC

意法半导体（STMicroelectronics，简称ST）推出全新先进充电器IC，使小型便携消费电子、医疗和安全设备面板上的条状太阳能电池成为更具价值的免费能源。全新充电器IC利用太阳能发电技术，大幅提升移动设备在室内外的充电效率，延长移动设备的工作时间，避免设备在没有电源的情况下意外断电。

意法半导体的升压DC-DC转换器SPV1040是针对便携应用设计的太阳能电池充电器，采用能够从太阳能电池收集最大电能的最大功率点跟踪系统（MPPT）创新技术，可连接少量的条状太阳能电池，为便携医疗设备、手表、计算器、无线耳机、玩具或手机进行充电。此外，电池充电器和MPPT技术还能为传感器和安全监视器进行充电。

SPV1040内置的MPPT算法可动态调整充电器的输入阻抗，确保充电器输入阻抗与太阳能电池完全匹配，从而最大限度地提高从充电器到电池的能量输送效率以及系统的整体效率。如果没有 MPPT技术，温度、老化、灰尘或单元之间的差异所引起的太阳能电池变化可能会造成不匹配的问题，从而严重影响能量收集效率。

TI推出PurePath Wireless音频产品系列

德州仪器(TI)宣布推出PurePath Wireless音频产品系列的第二款器件，为消费类、便携式以及高端音频带来最新应用。该2.4GHz CC8530射频(RF)片上系统不但可通过高稳健RF链路传输未经压缩的无线音频，而且还支持多达4个音频通道的数字流。此外，TI还同步推出了作为PurePath Wireless音频系列组成部分的CC85XXDK-HEADSET开发套件与参考设计。

CC8530的主要特点包括：多通道音频流功能，4个扬声器可接收来自无线基站的独立音频流；完整的解决方案：RF协议、微控制器、音频编解码器设置支持、应用设计，无需软件开发；支持便捷配置的免费Configurator PC软件工具，高服务质量支持数字无线音频传输；蓝牙技术、WLAN以及其他2.4GHz标准的出色共存，分布式音频时钟支持同步无线扬声器，低时延可在音频与视频之间实现更出色的同步，支持无任何压缩的16位44.1kHz或48kHz音频等。此外，该芯片还与各种TI音频编、解码器兼容。

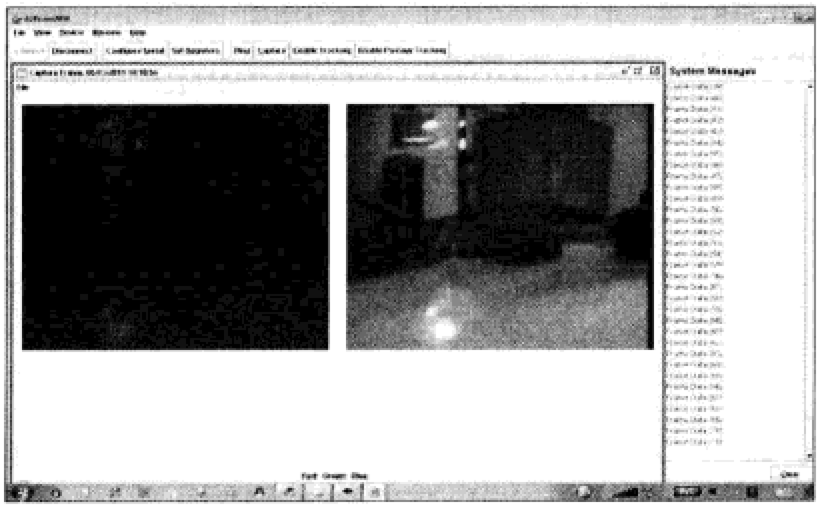


图6 使用AVRcamVIEW效果图

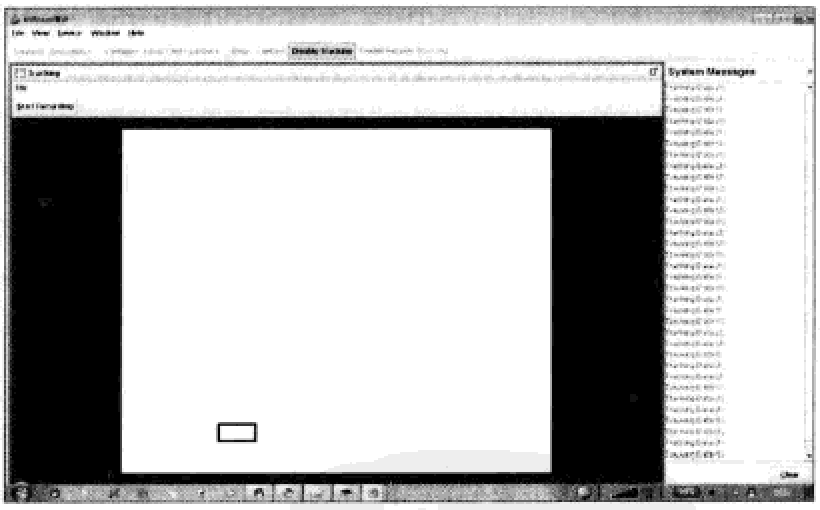


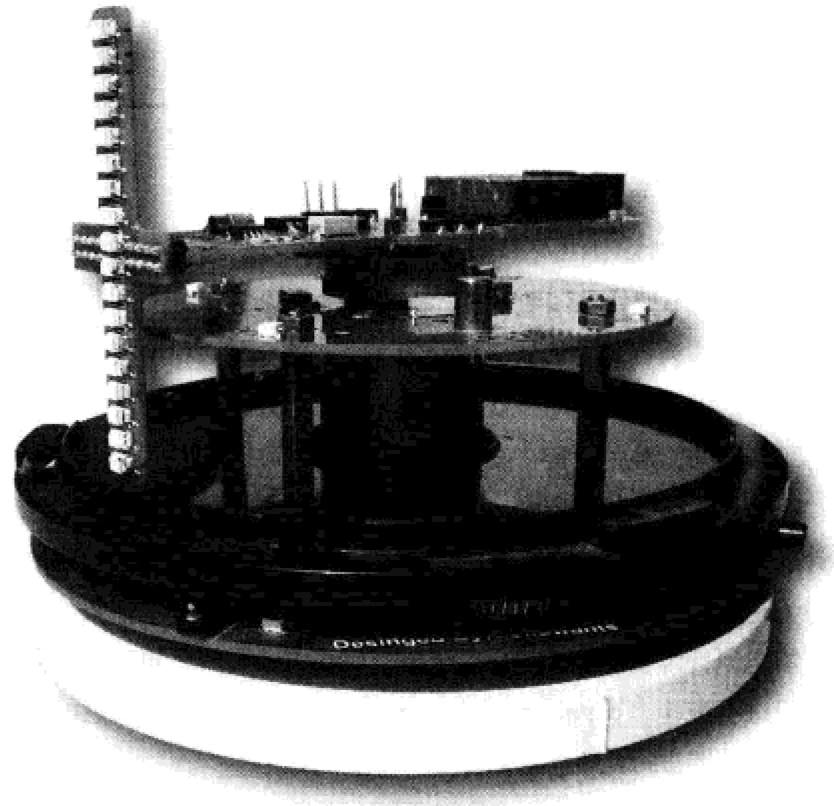
图7 颜色追踪效果图

不同色点用于手势识别、比较相邻两帧图像变化用于动静监测、可以做简易家庭安全监控等，相信读者们的想象力必定能够带来更加有创意的作品，也希望大家能够在《无线电》杂志的平台上分享交流！

写在后面

通常的数字图像处理系统动则使用ARM、DSP等“高射炮”，而有些场合其实只需要简单的处理器就可以迎刃而解，相信该小系统能够得到一定的应用，这也为那些希望玩转单片机的爱好者们提供了一条捷径。由于篇幅关系，笔者没有再介绍视觉测距部分，有兴趣的读者可以与笔者联系。本着交流学习的目的，在制作过程中，笔者参考了John Orlando的AVRcam开源项目（http://www.jrobot.net/Projects/AVRcam.html），特此说明。笔者也乐于分享全部资料、源代码、PCB文件等，请读者到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

前路漫漫，希望广大电子爱好者齐心协力，共同打造中国电子行业美好的未来！



◎王平

旋转POV显示屏设计与制作

POV 简介

POV 即英文Persistence of Vision 一词的缩写，翻译成中文的意思就是“视觉暂留”。当人的眼睛在观察物体时，物体反射的光线映像会在人的视网膜上保留很短暂的一段时间。在这短暂的时间段里，前面的视觉形象还没有完全消退，新的视觉形象又继续产生时，就是利用人眼的视觉暂留在高速转动的物体上呈现出静态或者动态图像。

对“POV”现象的认识和利用，可以追溯到200多年前，留影盘的发明就是利用了此原理。时光飞逝，在科学技术飞速发展的今天，本文将利用现代工程设计的理念和方法，与广大电子爱好者分享趣味POV电子显示屏的设计与制作。

设计思路

首先是立意，你想做一个什么外形的POV，在你没有一个大体轮廓的构思前，最好别急于动手。你考虑得越充分，就会发现最后需要修改的地方越少，反之会让你很痛苦，甚至打击信心。于是虚拟设计技术的应用可以很好地解决设计初期的探索问题，通过计算机三维虚拟设计，对所用到的零件进行1:1精确建模，在计算机中进行组装模拟和调试，不断修正设计中存在的缺陷，最终完成作品的设计。另外在设计这款旋转POV之前我先做了摇臂式的POV，已经查阅过很多的资料，有过这方面的经验。之所以设计旋转式的POV，是因为摇臂式的刷新速度比较慢，稍稍滞后于人眼的分辨率，这也是摇臂式POV的机械属性所造成的。我们在看的时候，会有稍许晃眼的感觉，而旋转式的就可以很好地解决这个问题。转速越高图像越清晰，转动机构相对来说比摇摆机制作起来要更方便，适合更多的爱好者仿制，于是就诞生了这件旋转POV作品。

功能概述

旋转POV显示屏主要由电机转速控制板、旋转供电板、系统主控板、LED灯板以及红外通信控制板等部分组成，系统框图见图1，各模块的作用见表1。

供电方式

旋转POV的供电方式是设计成败的关键之一，让我们先来看一下有哪些常规的供电方式。

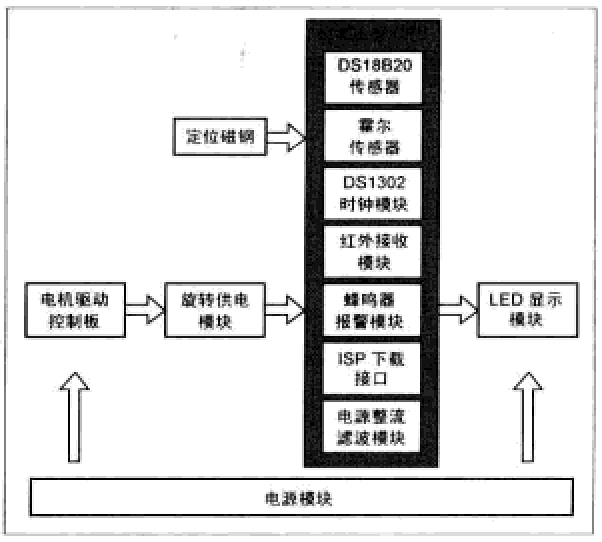


图1 系统框图

表1 系统各模块作用

模块	作用
电机驱动板	负责直流电机的无级调速，控制电机的转速，电机安装在电机驱动板上，同时电机又构成POV的主承重结构
旋转供电模块	既要保证电机主轴的高速旋转，还要保证直流电源可以稳定地供给旋转主控板和LED灯板，同时为霍尔传感器固定磁钢提供基座
旋转主控板	旋转POV的核心控制部分，含有各种接口模块。主控芯片采用稳定的AT89S52，便于购买和调试，主板上有实时时钟芯片，保证掉电后时钟可以继续运行，下次上电时即为当前时间，不需要再进行调整。红外接口可以使用红外遥控器与POV主板进行交互设置，通过红外遥控器设置时间、闹钟、显示模式等，当到达设定闹铃时间时，蜂鸣器进行报警提示，板载温度模块可以对当前环境温度进行测量
LED 灯板	18个高亮LED排成一列，构成显示单元，LED灯板通过DIP2×11的双排针与旋转主板完美结合。既保证信号传递，又保证机械强度，在高速运行时有效克服离心力，保证画面稳定显示
红外接口板	红外接收头安放在接口板的中心，保证红外通信的正常可靠，蜂鸣器也安装在控制板背面的中心处，保证发声正常

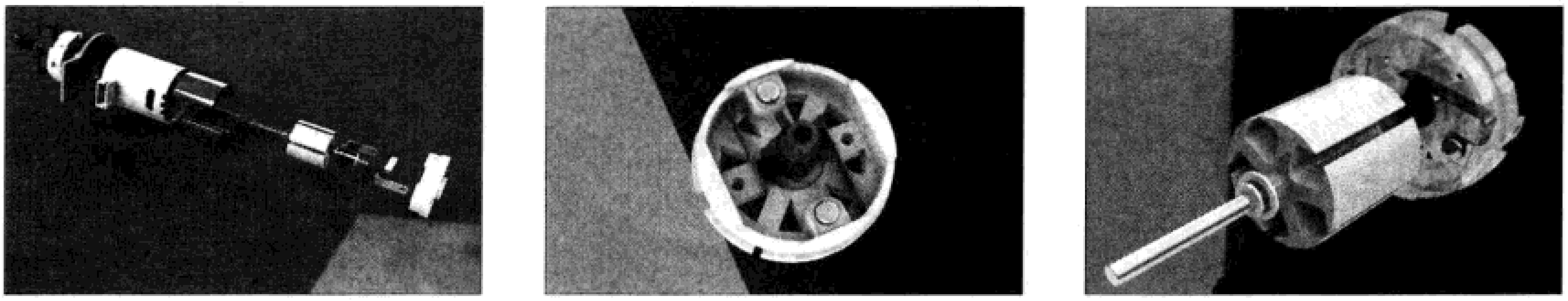


图2 电机结构图

1. 自感应供电

这种方法就是从指针板上引出导线，接入到电机内部绕在转子上，当电机旋转时，该导线切割磁感线，根据法拉第电磁感应定律可产生感应电动势，经过整流后可作为整个旋转系统的电源，自感应供电优缺点见表2。

2. 无线供电

这种供电方式采用电磁场与电磁波原理，一个小型的无线输电电路，需要两个同心线圈。这种方式的优缺点与自感应供电类似，详情见表2。

3. 自备电池

在指针板上安装电池，由电池供电，一般是用2~3节7号电池，自备电池优缺点见表3。

4. 机械传导供电

机械传导供电是采用滑环和电刷，通过机械接触传导电流，它的优缺点见表 4。

表2 自感应供电的优缺点

自感应供电优点	（1）设计很巧妙，无机械磨损 （2）由于感应出来的是交流电动势，所以可以利用该过零信号来定位，不必另外准备定位信号
自感应供电缺点	（1）提供的电流有限，只能适合LED较少的旋转时钟。当LED数量较多时，需要更大的电流，这种方式就不能满足了 （2）这种方式要对电机本身进行改造，也有一定的难度。并不是所有的电机都适合这种改造，而且这种改造可能会给电机带来损害 （3）只有在电机旋转时才能发电给指针板供电，一旦停止转动，供电也就无以为继了，这样要实现旋转时钟的不间断走时，还得另加备用电池并采用低功耗设计

表3 自备电池优缺点

自备电池优点	不用担心电压波动，也不受机械磨损或者接触不良之类问题的困扰
自备电池缺点	浪费电池，既不经济也不环保，还非常麻烦。电池很重，一般的电机带不动，必须用功率较大的电机，这也意味着成本的上升

表4 机械传导供电优缺点

机械传导优点	能够提供比较大的工作电流
机械传导缺点	存在机械摩擦，会产生磨损。因此要求滑环和电刷材料要耐磨，经得起折腾。另外，还得有足够的弹性，并且要耐锈，否则会导致接触不良。由于存在机械阻力，就要求电机有比较大的功率，同时相应的伴有机械噪声

旋转供电结构分析

在POV设计中采用改进型机械传导方式供电，延续自身优点，克服了机械传导的缺点，我们先来了解一下电机结构，见图2。

直流电机主要由转子、定子、换向器、电刷等部件构成，电源通过电刷和换向器供给转子线圈。当转子线圈中有电流通过时，在磁场中受到磁场力的作用而旋转，直流电机就是通过这个原理转动起来。这样看来，电机的电刷和换向器应该很耐磨，而且电刷有弹性，可以保证接触良好。高级的直流电机电刷为石墨，可以保证长时间稳定运行，而我设计的旋转供电部分正是利用电机的这个特点，在电机轴上再加装一个电机座，主控板上安装一个换向器，这样电机旋转带动套在主轴上的换向器作同步运行，就把电源完美地送到旋转主板上，既保证结构的稳定与可靠，又可以保证供电传输的不间断。

旋转供电原理

旋转供电的结构想必大家已经清楚了，现在我再来讲一下旋转供电的电器原理。

先来个换向器特写，见图3，换向器有5个独立的电极，5个电极之间相互隔离，镶嵌在环氧树脂基座上。

A、B、C、D、E 为电机换向器触点。由于旋转供电部分均采用电机自身零件，只需再做简单加工处理，安装方便，取材容易，所以旋转供电部分使用寿命与电机寿命相同。另外，当电机轴带动换向器旋转时，在任意时刻最多只有3个换向极与两侧电刷接触，此时输出脉动直流电

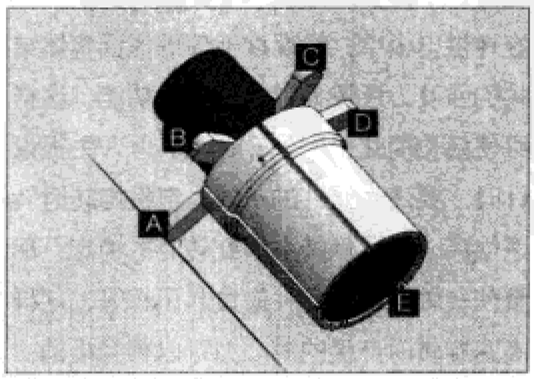


图3 换向器

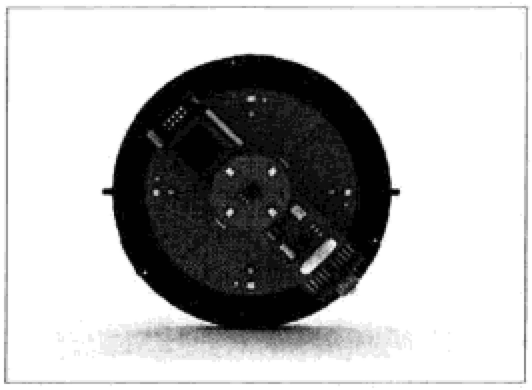


图4 顶视设计图

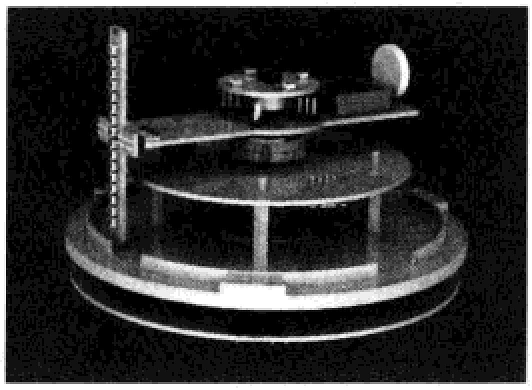


图5 系统外形设计图

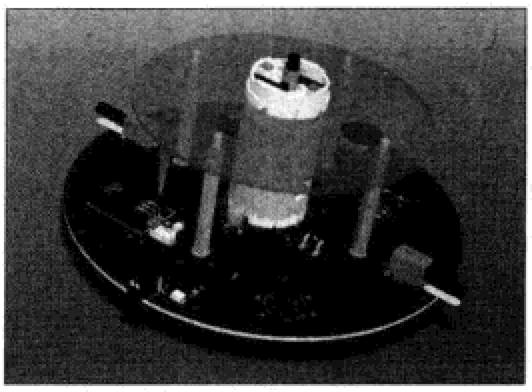


图6 电机固定在两个板子之间

压，然后通过旋转控制板上的整流、滤波电路输出给稳压芯片，这样就可以得到稳定的电流，转速越高，供电越稳定。

POV结构设计

明白了旋转供电的原理以后，接下来就要开始整体结构设计了，这是个考验耐心的工作。因为POV是高速旋转的，为了能安全使用，同时又要满足DIY取材方便的要求，我找到了一个CD光盘盒，通过软件对光盘盒的精确建模来确定整个POV系统的边界，所有的设计都要容纳在这个透明的小盒子之内，见图4。

在设计POV的结构时，需要反反复复不停地改进。设计就是这样，需要根据实际情况进行修正，一般的设计原则是由简单到复杂，先实现基本功能，再细化布局和美化外观，见图5。

为了让大家更好地理解如何进行结构设计，笔者录制了部分结构设计视频给有兴趣的读者进行参考。

在POV机械结构方面力求简单稳定，采用“三明治”的方法把电机固定在电机驱动板和旋转供电板之间，见图6，并通过铜螺柱把供电电源由电机控制板引入至旋转供电板中。铜螺柱不仅可保证整体结构的强度，还兼具电力传输的功能，这样可使结构简化。另外，在旋转POV主板设计时，要注意元件的布局，电机旋转时转速很高，为了保持主板旋转时的稳定，尽量使转轴两端的元件质量趋于相等，这样高速旋转时产生的离心力可以相互抵消，这也是设计的难点之一，需要根据实际的元件布局来进行调整。

POV电路设计

当机械板框设计结束后，就可以开始进行电路板设计了。根据每个板子的功能不同来进行电路设计，特别要注意接口的定义。

1. POV电机驱动板设计

电机驱动板的电路图见图7，采用直流RS385电机，12V供电，采用PWM调压电路对电机进行无级调速。显示时，通过自适应算法来调节画面显示幅度，达到最佳显示效果。

2. POV旋转供电板设计

旋转供电板的电路原理图见图8。在设计时需注意，定位孔必须与电机驱动板上的位置一致，磁钢固定孔需选择合理位置。

3. POV主控板设计

POV主控板是系统的核心部分，电路原理图见图9，板载丰富接口，可与外围电路进行数据传输。布局简洁明了，功能模块划分明确，便于查找错误并进行电路测试。主控采用AT89S52，方便购买，开发资料很齐全，采用ISP下载接口可以方便地修改源程序。在焊接时，注意整流滤波电路中二极管的极性，如果有一个二极管极性焊接反向，导致电源正负极短路，会对电源和电路造成严重损伤！整流电路后采用两片7805并联使用，为整个旋转电路板和LED灯板提供能量，为扩展驱动更多的LED奠定基础。最后，在放置霍尔传感器时要与旋转供电板磁钢的位置相对应，这样才可以保证每次霍尔元件从磁钢正上方经过时会输出一个跳变信号，此信号通过单片机的中断来接收，确定每屏开始显示的起点。

4. POV_LED灯板设计

LED灯板的电路原理图见图10，需要注意的是，18个LED需要平均分布在LED灯板上，LED接口与POV旋转主板之间采用2.54mm间距的22针双排针进行连接，一定要注意接口中LED网络与主板上的网络相对应。

5. POV红外接口板设计

红外接口板的电路原理图见图 11，再次强调与主板上对应的接口时序。为了防止插错对应接口，在红外接口板上设置参考图案，在对应主板上也设计相应的参考图案，这样在插入红外接口板时只要对准相应参考点，即可保证准确无误地插入。

POV程序调试

程序编写采用C语言，调试编译环境为Keil C。主控制函数见程序框图，其他控制程序可参考源程序。有兴趣的读者可以发挥自己的想象力，根据需要改变显示的效果。

POV焊接与装配

设计完成的PCB，可送加工厂加工或

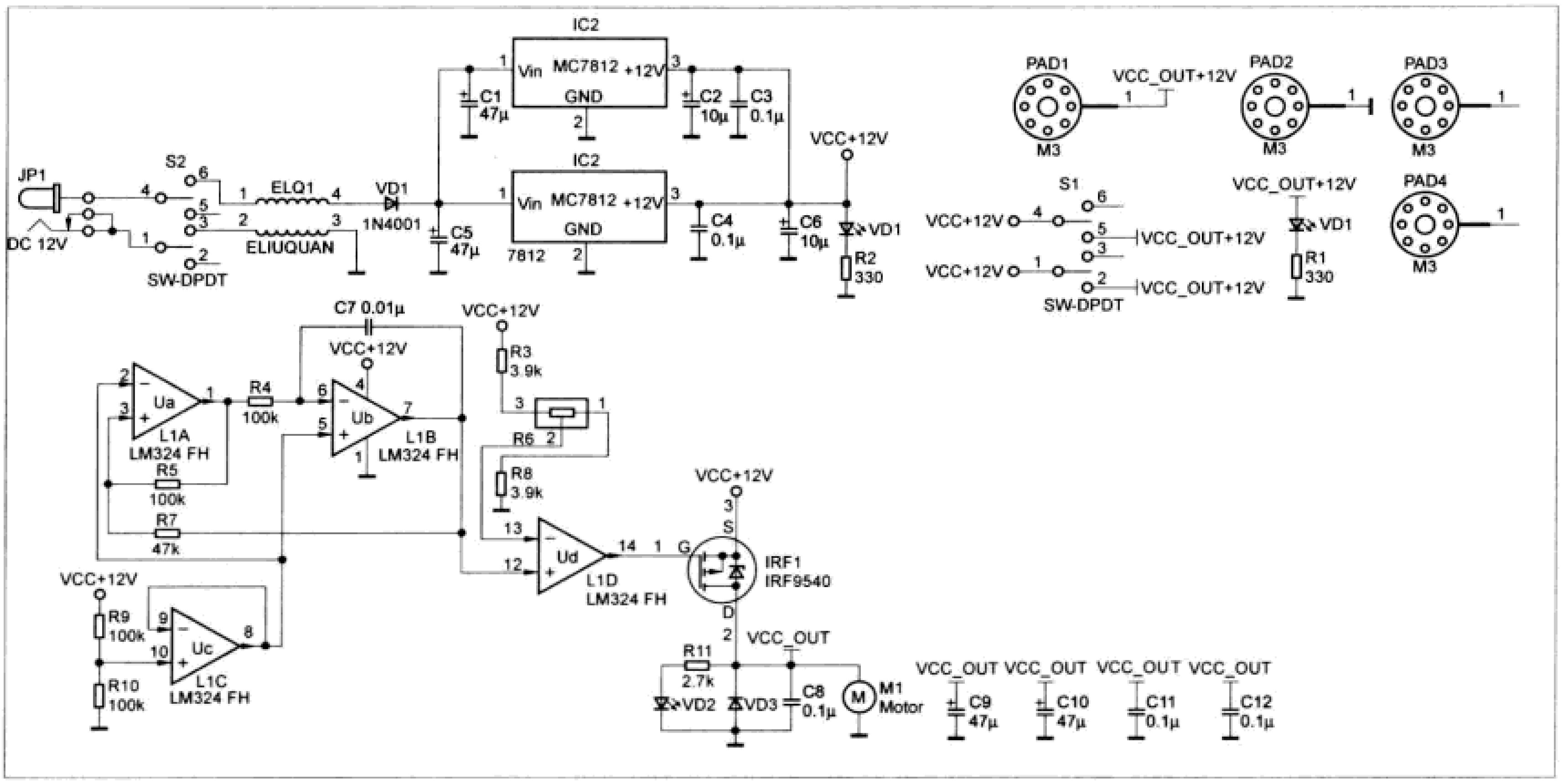
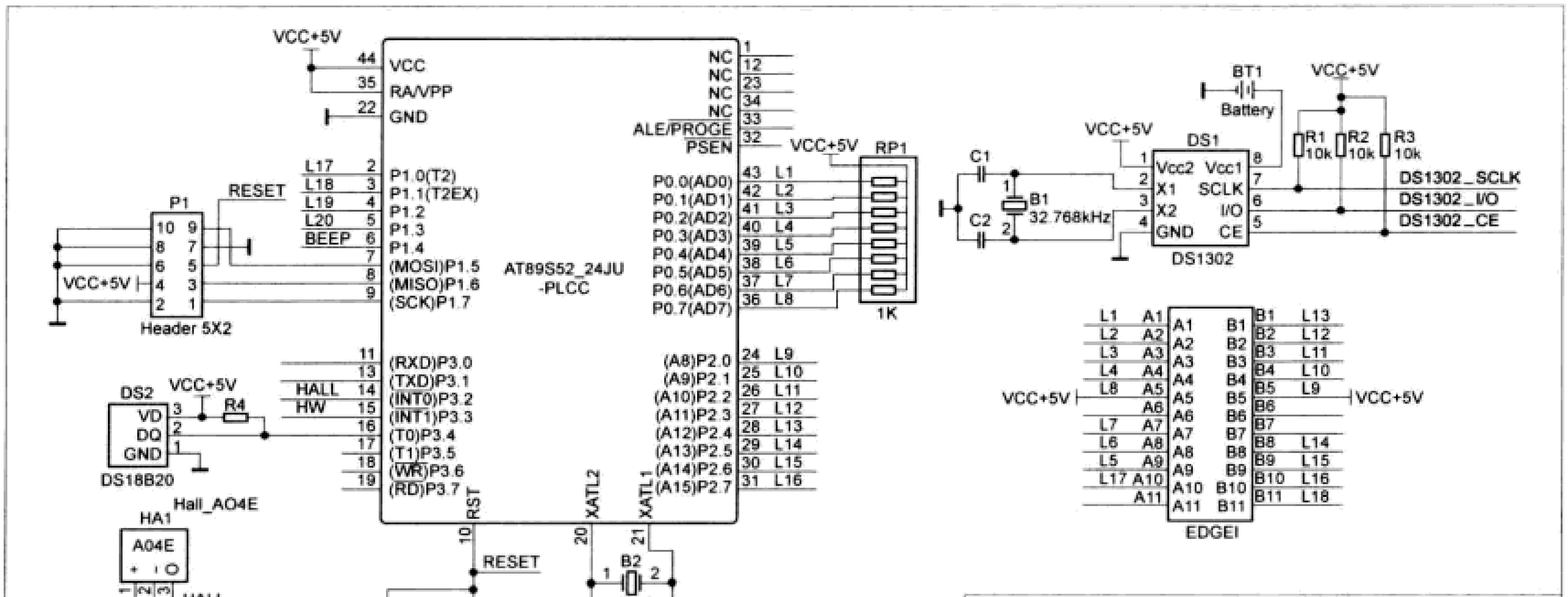


图7 电机驱动板设计图



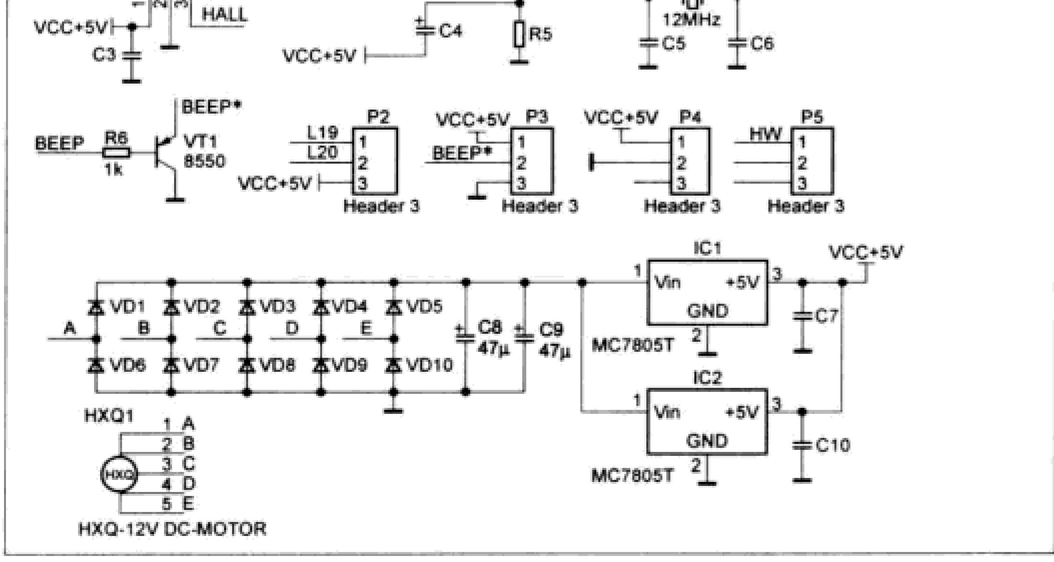


图9 主控板电路图

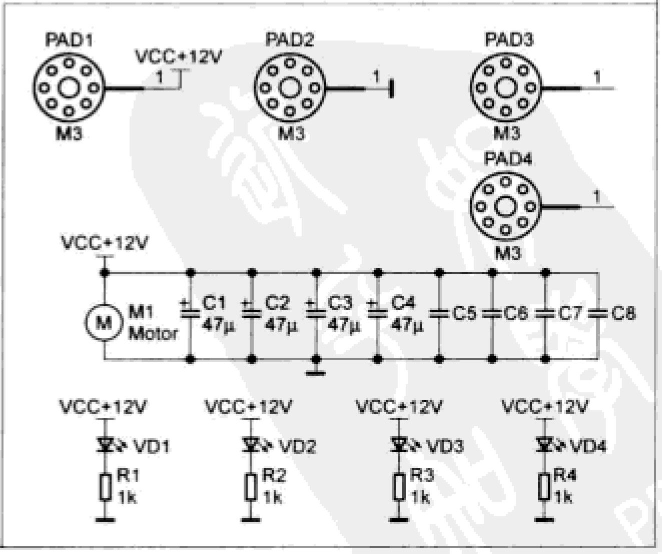


图8 旋转供电板电路图

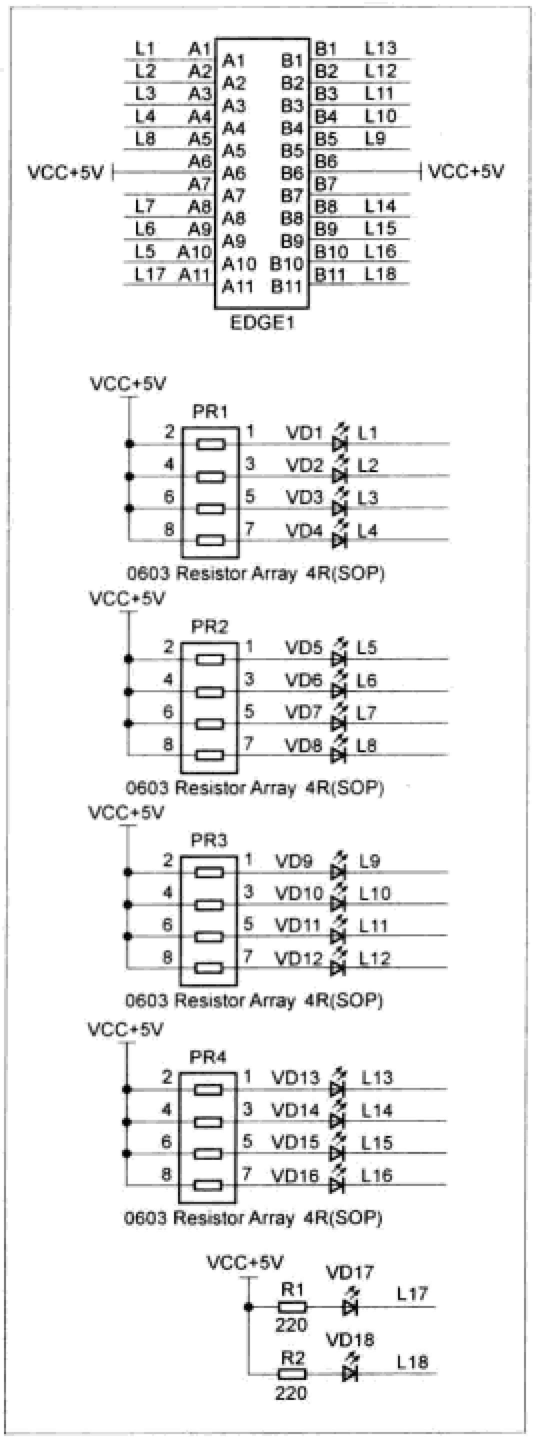


图10 LED灯板设计电路图

者使用热转印进行自制。

在焊接时要注意烙铁的握姿，烙铁头与焊盘大致成45° 角。焊接贴片元件时，先对焊盘进行上锡，然后用镊子夹住被焊元件，焊接元件的一端。如果焊接有误，可以进行及时调整，确认无误后再焊接元件的另一端。

组装时按照由下而上的原则，先安装电机主控板，然后插接用于固定的铜螺柱，在固定旋转供电板完成后，可以先通电试验电机是否工作正常，PWM调速部分是否工作正常，还要用万用表电压挡测量旋转供电板的电源输出端是否有输出电压，在确认这些检测正常后，方可继续进行下一步操作。

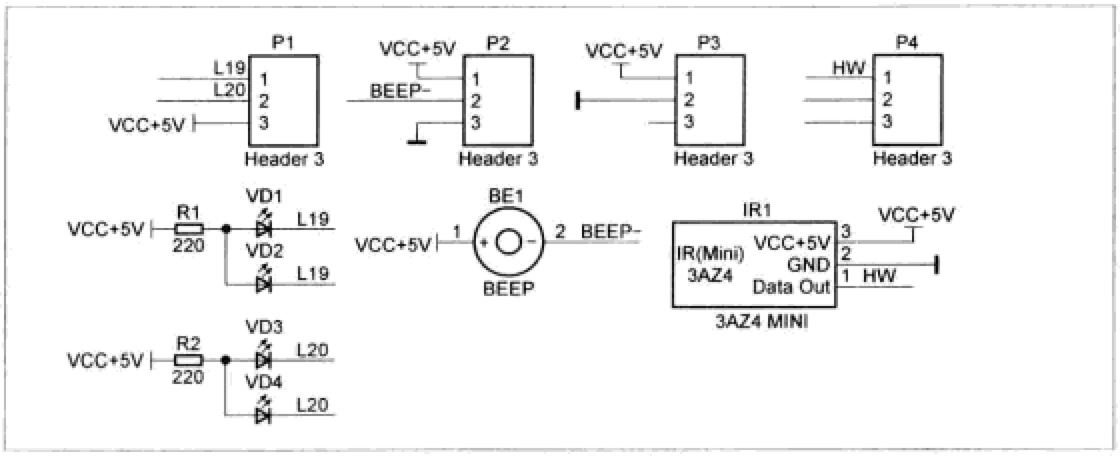


图11 红外接口板电路图

焊接旋转供电组件和主板时，需要注意的是整流二极管的极性，焊接要饱满，防止换向器在高速转动时受到影响。霍尔元件的方向一定要明确，不要焊反了。LED灯板在焊接时要注意LED的正负极方向，注意焊接时间的把握，LED灯比较脆弱，焊接时要快、准、稳，防止长时间灼热导致LED内部损坏。

5. 在烧入程序后发现灯会亮，但是无法正常显示，这时可以改变一下磁钢的方向。因为霍尔元件是有方向的，改变磁钢方向后即可解决问题。

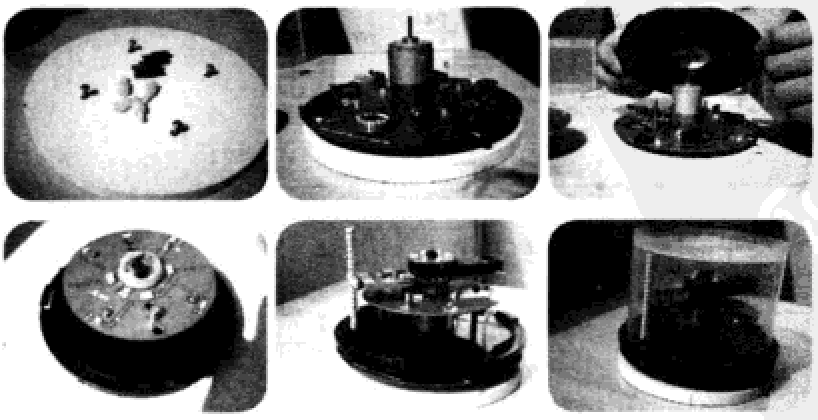
POV制作总结

在旋转POV的设计制作过程中，我们会用到机械三维设计、PCB设计、机械建模与PCB联合设计、程序设计与调试等技巧。这些技巧需要在实际的制作中不断的学习与积累。通过与大家分享这个旋转POV的DIY过程，我希望与广大DIY爱好者共同提高。

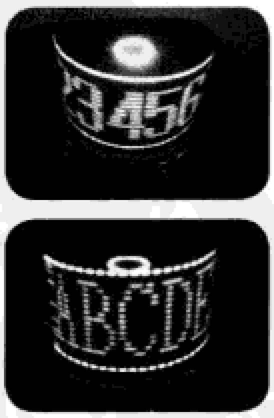
主程序框图

```
void main()          //主函数
{
  IT0=0;        //外部中断0触发模式，低电平有效
  PX0=1;        //提升外部中断0优先级
  TMOD=0x01;        //配置定时器0
  TH0=(65536-1200)/256;        //定时器0覆初值
  TL0=(65536-1200)%256;
  EX0=1;        //外部中断0使能
  ET0=1;        //定时器中断使能
  TR0=1;        //启动定时器0
  EA=1;        //开总中断
  init();
  while(1)
    {
    }
}
```

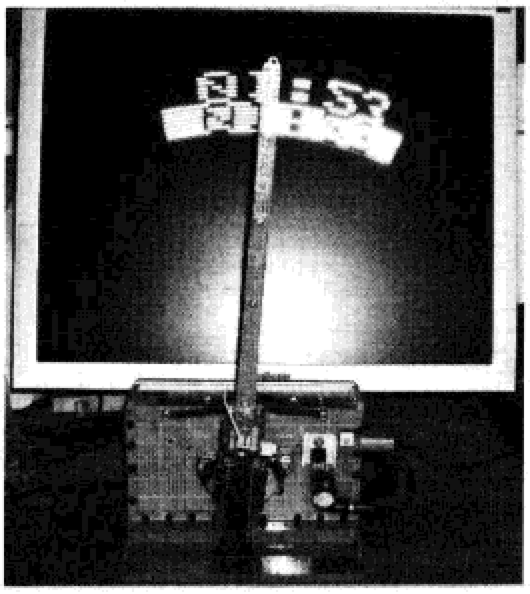
装配过程



效果演示



■ 文章源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。



摇臂式POV设计与制作

◎王平

摇臂式POV——通过改造硬盘音圈电机带动摇臂支架做往复运动，把16个LED固定在摇臂的一端，当摇臂做往复运动时，LED也跟随摇臂做往复运动，利用MCU作为控制中心，控制音圈电机做往复运动的速度，同时在摇臂运行过程中，不断刷新显示数据，最终利用人眼的视觉暂留效应和发光二极管的余辉效应，在人眼中形成一幅完整的图像，让我们先一睹摇臂式POV的风采，见题图。

很多朋友做过手摇的摇摇棒，本文介绍的POV的原理跟它的基本是一样的，只是这里不用手摇，通过机械装置控制。恰巧手头有一块报废的硬盘，里面有音圈电机，于是就想到DIY一款自动摇摆的摇臂式POV，只要有电源供电，这个摇臂式POV将永远工作下去。本制作的难点是：第一，如何对摇臂进行供电；第二，如何让摇臂来回摆动。看完这篇文章后你就会明白我是如何解决的。如果再加上你的一份热情，相信你也可以DIY一款很酷的桌面摆设POV。

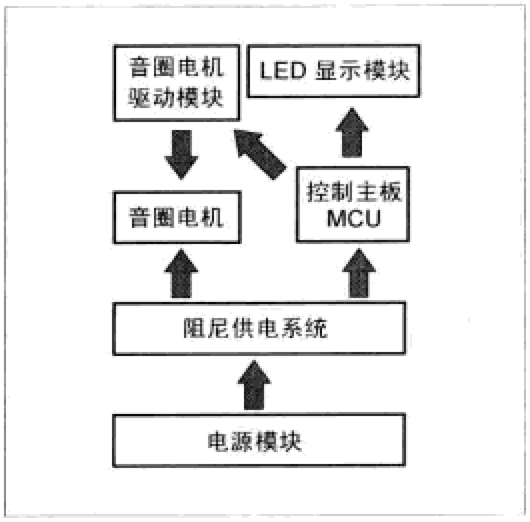


图1 系统各模块框图

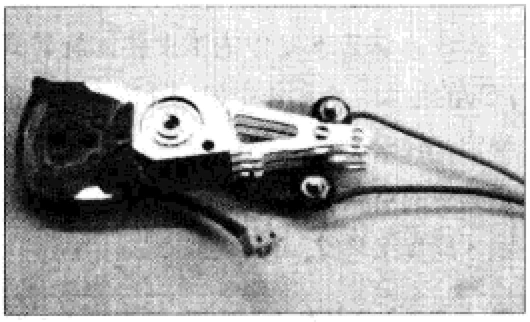


图2 音圈电机

系统框图见图1，摇臂式POV由以下模块组成：电源供电系统、音圈电机、阻尼振荡供电系统、系统主控板、音圈电机驱动模块、摇臂、LED显示模块等。

电源系统

摇臂式POV动力的源泉—— 一个稳定的供电系统，它是整个系统正常运行的关键，本制作采用DC12V供电。

音圈电机

摇臂机械部分的核心采用的是迈拓硬盘扫描磁盘的摇臂装置，它主要是由音圈电机控制的，见图2。其实它是单扎线圈的电机，我们所要做的就是在合适的时间改变电流的流通方向，根据电磁感应定律，通电导线在磁场中的运动方向也会改变。

阻尼供电系统

控制板和LED摇臂都固定在音圈电机上，随着音圈电机作同步运动，这样就遇到了如何在运动中进行供电的问题。一种方法是采用软线直接供电，但此供电方式的缺点是长时间摇摆振荡，会使导线金属疲劳，最终导致供电线路断裂，系统无法正常运行。于是我设计出了一套阻尼供电系统，既要保证系统可以摇摆起振，还要能保证电源的供给。

首先从洞洞板截出一块小板，在同一水平线上均匀打上3个孔，中间孔穿上螺丝固定好，不要把螺丝旋紧，让电路板可以自由摆动，另外两侧的孔A、B也各穿一颗螺丝，见图3，最下层垫一个橡胶圈，这样既可以绝缘又可以起到防震缓冲的作用，也不会对悬臂骨架造成冲击，在A和B 处引出两根电源线给控制板供电。

主板供电是使用弹簧做桥梁，弹簧材质是钢，可以导电，这样弹簧分别连接在底板PCB正、负极柱C、D上，另一端分别连接到悬臂A、B上，再用两根引线连接电源至控制主板，这样主板就获得了能量，MCU和LED都可以正常工作，那两根弹簧的另外一个作用就是使摇臂保持平衡。两根弹簧的长度相等，静止时摇臂把两侧弹簧拉力相互抵消，摇臂保持竖直状态。当摇臂左右摇摆时，可以起到缓冲悬臂的作用。当摇臂向极柱D运动时，BD段弹簧先是恢复自然长度不对外产生弹力，然后BD段弹簧压缩，弹力增大。阻尼摇臂从极柱C加速向极柱D运动时，通过平衡点后，摇臂开始减速，这样就不会对极柱D造成很大的冲击。同时CA段在摇臂过了平衡点后向极柱D运动时提供了拉力，进一步降低摇臂的速度。就这样依次循环

往复运动，和以前学过的简谐运动类似。

系统主控板

系统主板搭载MCU、音圈电机驱动模块、ISP下载接口、LED驱动接口，电路原理图见图4。通过主板MCU控制音圈电机驱动模块来使音圈电机摆动，带动整个悬臂作往复运动，同时控制LED刷新字幕。当摇臂顺时针摆动时，LED正向刷新字幕，当摇臂逆时针摆动时，LED反向刷新字幕。也就是说，摇臂来回振荡时，在同一位置都会刷新字幕，这样可以明显地增强显示效果，制作好的系统主板实物见图5。

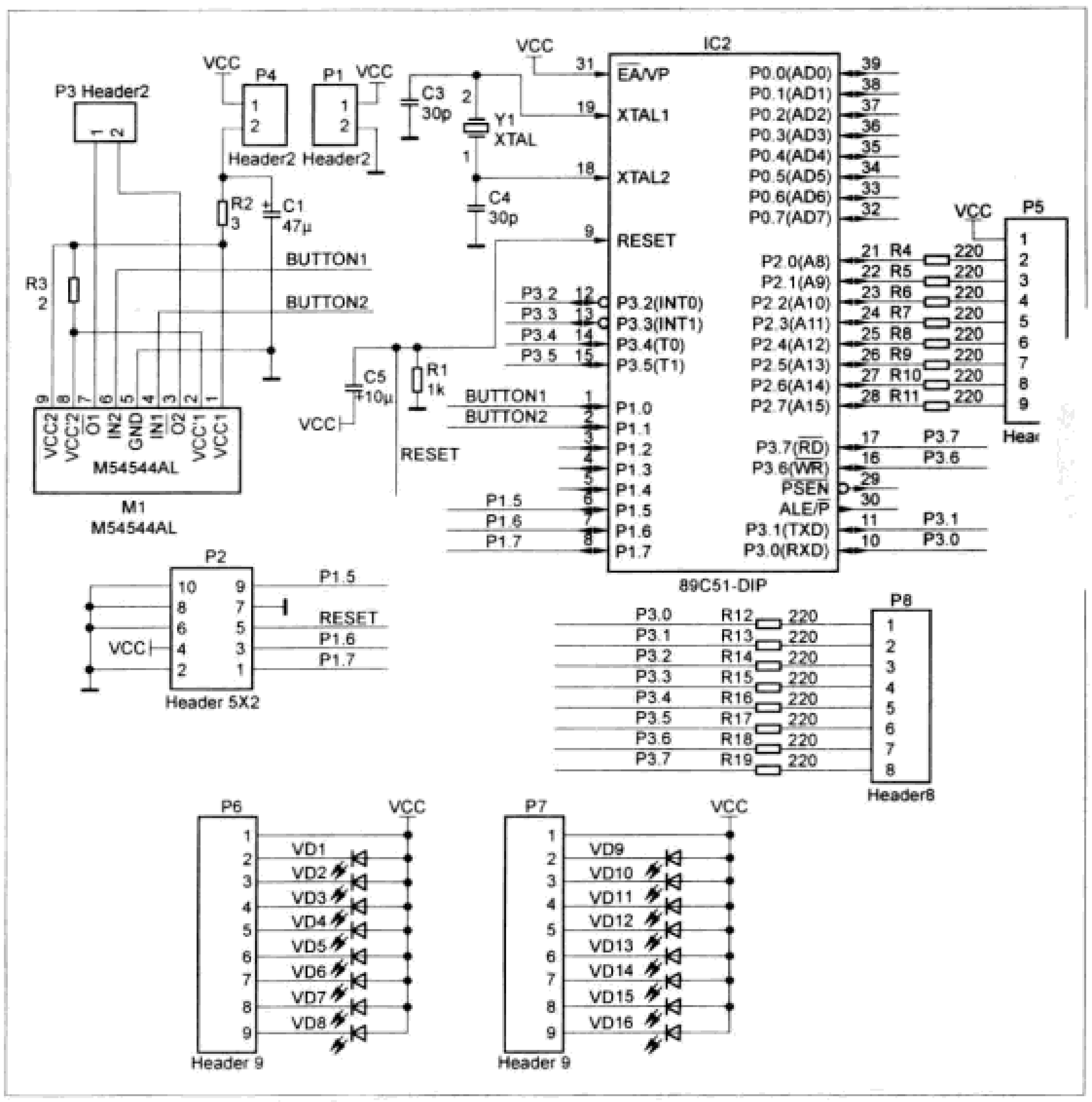


图4 系统电路原理图

音圈电机驱动模块

音圈电机驱动模块采用H桥专用驱动芯片三菱M54544AL，驱动电路见图6。

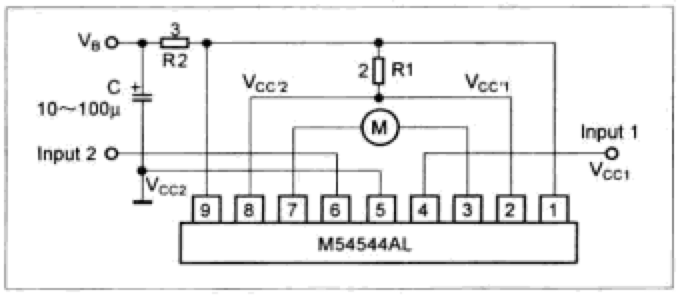


图6 音圈电机驱动电路

LED显示模块

16个高亮LED均匀排布，分别接在单片机的P0和P2引脚，连接LED的导线为漆包线，它的特点是比较细、相互绝缘、强度高。

制作要点

这款摇臂式POV的机械摇摆部分采用硬盘寻道的音圈电机的主体部分，首先要把音圈电机完整拆下来，移植到电路板上并固定。音圈电机包裹在两块强磁铁中，在同样的驱动电流下，受到的磁场力更强，整个摇臂会更有力量，更容易起振。不过这样做的一个缺点就是，音圈电机摇摆的幅度受到限制，摆幅在35° 左右。为了增加显示的范围，只有增加摇臂的长度。在这件摇臂式POV中，摇臂的长度为25cm。

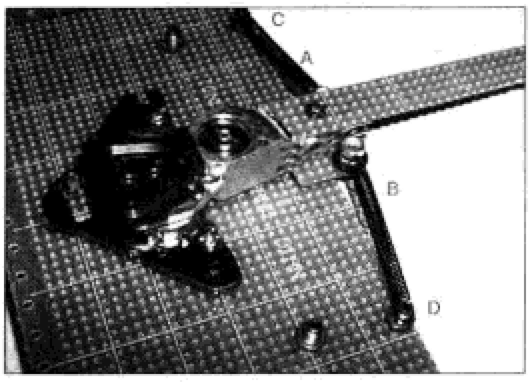


图3 主板机械结构

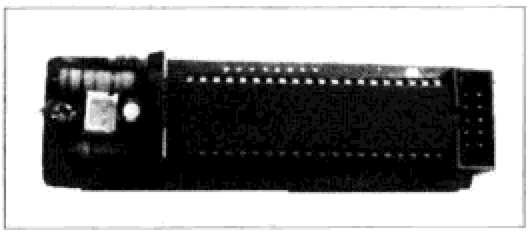


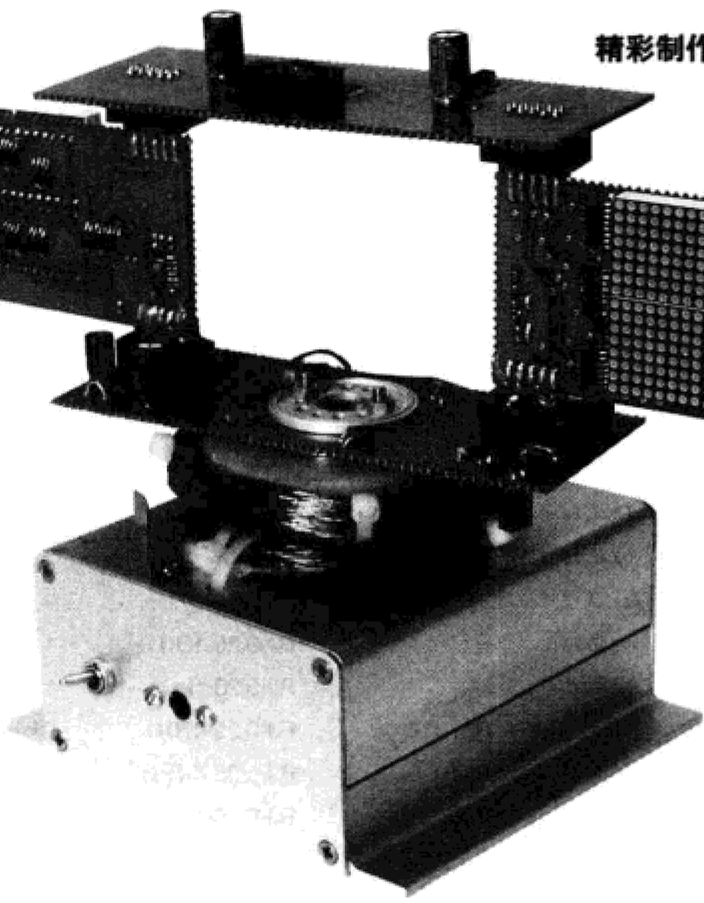
图5 系统主控制板实物图

机械部分完成后，可以用亚克力板给POV做一个固定底座，固定整个系统。因为是业余DIY，拉力弹簧不可能做到完全一样，所以转轴两侧的力矩也不可能完全一样，这样在运行的时候会产生一些震动。为了吸收这部分能量，专门打造了一块配重。采用一个易拉罐的三分之一做模具，然后倒入融化的铅液，冷却后再喷涂上一层蓝漆，安装在亚克力底座的中间，很好地保持了系统的稳定运行。

制作心得

个人认为本制作的难度要比旋转式POV的稍大，在制作中如何让本系统保持稳定、轻松摇摆起振以及供电方式的选择是其中的难点和亮点，需要大家多动手实践才能真正掌握。

■ 文章源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。



3D旋转显示装置

◎李光

自从电影《阿凡达》上映之后，影像视频显示领域就掀起了一股3D热。从电影、电视到数码相机等都在发展应用3D技术。在看到此技术在各领域的应用后，我就想到用单片机来控制一个旋转装置，显示简单的3D图像。

显示原理

3D图形就是在X、Y、Z三个坐标轴所确定的三维空间中将一个画面表现出来。一般情况下，我们用LED点阵模块来显示平面方向的二维文字和图形，只是缺少了Z轴。所以，在本制作中我采用旋转方式，利用人眼的视觉暂留产生Z轴，就能显示3D图形，显示原理见图1。

LED显示平面构成了坐标系的X、Y轴，它绕旋转轴进行高速旋转，每秒转数应在20圈以上，相当于每秒20帧，这样才能保证人眼能看到连续的图形。每帧的3D图形在设定的起始位置开始显示第一幅画面，经过几毫秒（具体时间由电机转速而定）后，LED显示平面转过约3°，再显示第二幅画面，依此类推，直到把这一帧所有画面显示完为止，然后到第二圈开始显示下一帧3D图形，3D显示效果图见图2，分解图见图3。

装置组成

整套电路主要由底座盒（内有电机、电源供给板、电机开关等）、电源接收板、左右显示板、控制板组成，整体结构见图4。由电源供给板产生的高频脉冲电流通过发送线圈，利用电磁感应传递到接收线圈，然后电源接收板进行整流、滤波，提供5V直流电压分两路供给2块显示板，再经2块显示板供给控制板。由于电机转动过程中转速不是很稳定，例如转速为每分钟1200转的电机，在旋转时转速大概会在每分钟1190～1210转之间变化，只是转动的速度很快，人的眼睛不会察觉到，但这种变化在高速显示图形时会产生不同步的现象。因此我又设计了2个光电对管用于2块显示板的位置检测，见图5，即电机每转半圈到达特定位置时才开始显示，在电源接收板上设计了用于位置定位的光电对管，检测到的信号也经2块显示

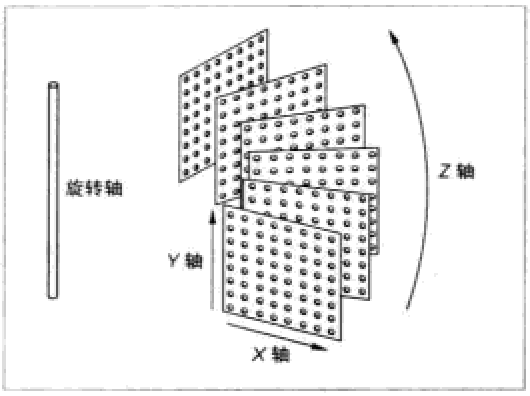


图1 显示原理

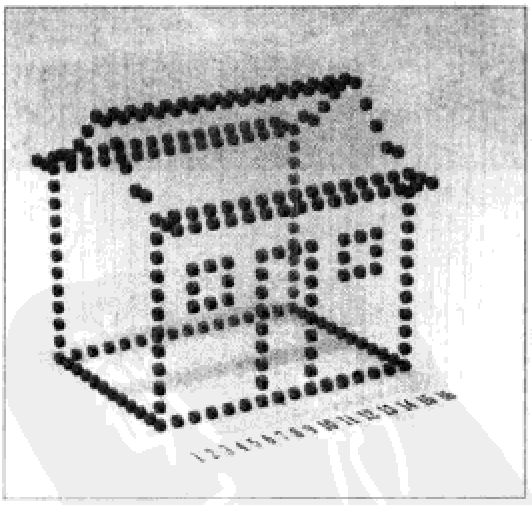


图2 显示效果

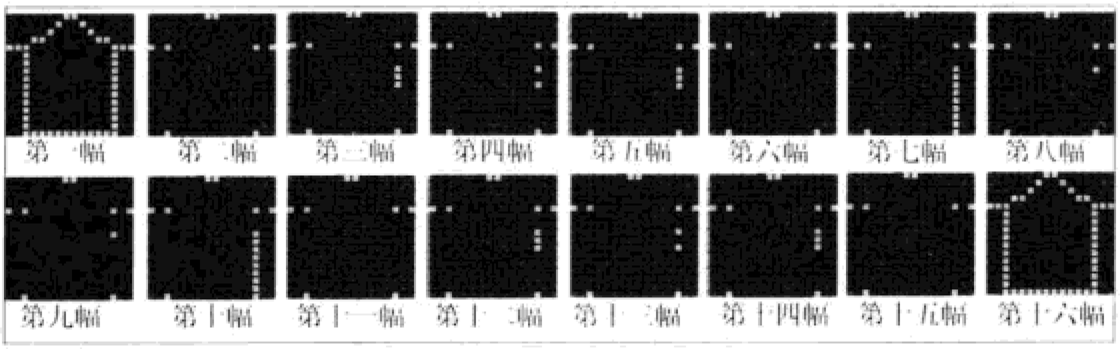


图3 3D房屋的分解图

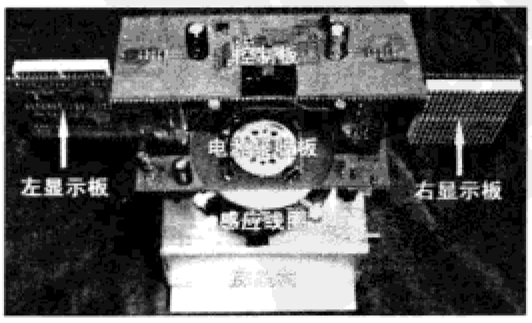


图4 整体结构

表1　无线电源发送板元件清单

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	单片机	IC1	ATmega8	1
2	稳压器	IC2	LM78L05	1
3	晶体	B1	12MHz	1
4	PMOS管	VT1、VT3	IRF5305	2
5	NMOS管	VT2、VT4	IRF1205	2
6	三极管	VT7、VT9	9013	2
7	电阻	R1	RJ-0.25-10kΩ	1
8	电阻	R2	RJ-0.25-1kΩ	1
9	电阻	R3、R7	RJ-0.25-470Ω	2
10	电阻	R4、R8	RJ-0.25-4.7kΩ	2
11	电阻	R5、R9	RJ-0.25-100Ω	2
12	电阻	R6、R10	RJ-0.25-18kΩ	2
13	电解电容	C4、C7	100μF-25V	2
14	电容	C1、C5、C6	0805 0.1μF-50V	3
15	电容	C2、C3	0805-22pF	2
16	接插件	SX2	HT-5.08-2	1套
17	接插件	SX3	HT-5.08-3	1套
18	接插件	SX1	IDC-10	1

表2　无线电源接收板元件清单

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	稳压二极管	VD5	1N4733A	1
2	二极管	VD1、VD2、VD3、VD4	1N4148	4
3	光电对管	DS1、DS2	槽式	2
4	电阻	R1、R2	RJ-0.25-100Ω	2
5	电阻	R3、R4	RJ-0.25-2kΩ	2
6	电容	C1	独石 1000pF	1
7	电解电容	C2、C6	470μF-25V	2
8	电解电容	C3、C5	220μF-25V	2
9	接插件	SX101-1、SX101-2	IDC-10	2
10	感应线圈	L	自制	1

表3　显示板元件清单

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	集成电路	IC1、IC2	74LS138	2×2
2	集成电路	IC3、IC4	74HC595	2×2
3	MOS管	VT1～VT8	4953	8×2
4	LED模块	LED1～LED4	SD411988	4×2
5	电容	C1～C4、C6	0805-0.1μF	5×2
6	电解电容	C5	470μF -16V	1×2
7	接插件	SX101、SX201	双排2.54mm 10针插孔	2×2

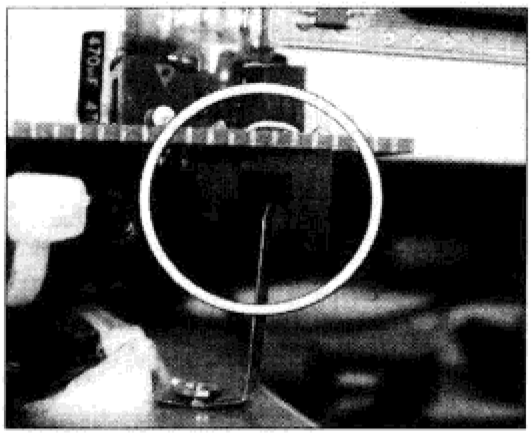


图5 光电对管

板接入控制板上的单片机，单片机收到信号后立即将显示数据传递给2块显示板进行显示。采用2块显示板的目的有2个：一是这样的结构可以保持平衡，有利于旋转的稳定性；二是每转动1圈显示2次图形，可以降低显示过程中的图形闪动。

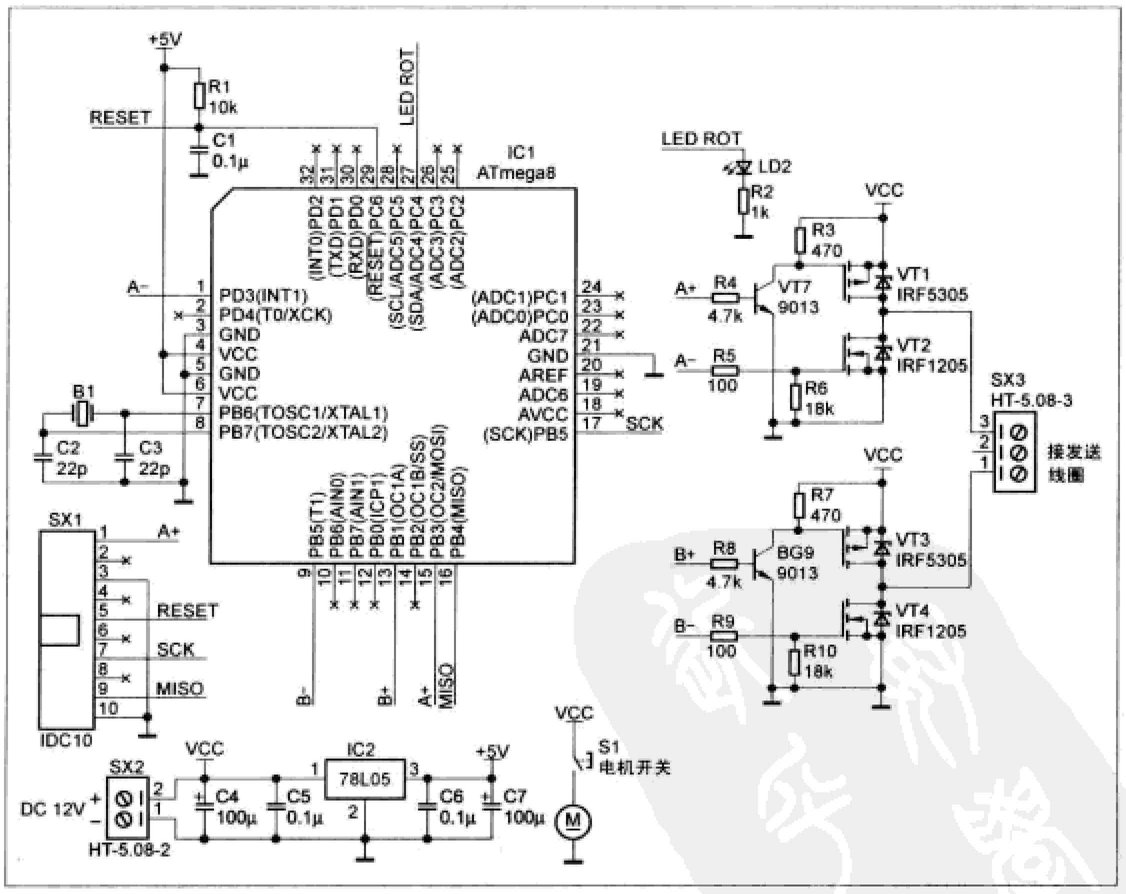


图6 无线电源供给板原理图

硬件制作

1. 电源供给和接收板

因为显示部分是旋转的，所以如何给它供电就是个问题。若采用电池供电方式的话，使用时间长了还得更换电池，并且会增加设备的重量，非常不合适。如果采用电刷供电的话，转动的时间长了，会出现磨损的现象，并且增加了加工难度，最后我决定采用无线供电方式，电源供给电路和接收电路原理图见图6和图7，因为手头有现成的无刷电机驱动板，就顺手用其改装了。利用原先板子上的ATmega8单片机通过程序产生时序脉冲，驱动2对

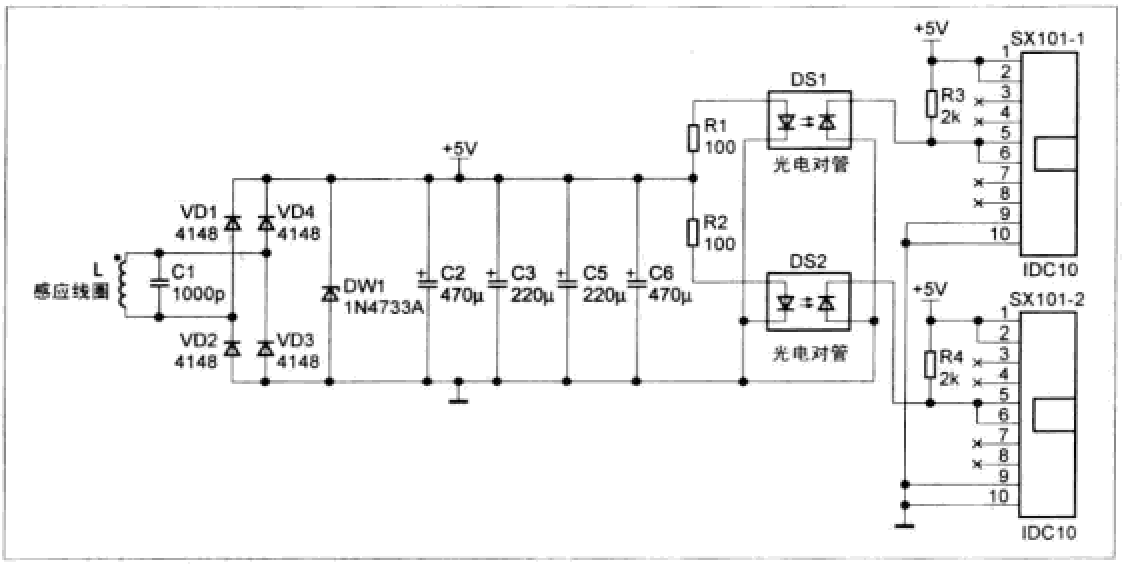


图7 无线电源接收板原理图

MOS管组成的H桥电路，进而将产生的高频电流供给无线发送线圈，产生高频磁场，图6所示的是改造后的原理图，实际电路板见图8。板子上原有3对MOS管，其中1对没有使用。由于电流较大，实际工作中MOS管会发热，最好加上散热片。当然，你也可以使用其他的电路，最好有无线电源模块。图6中所示的SX1是程序下载接口，SX2接DC12V，SX3接发送线圈；图7中所示的SX101-1、SX101-2接显示板。发送和接收线圈直径为60mm，发送线圈用Φ0.45mm的漆包线绕80匝，接收线圈用Φ0.31mm三线并绕120匝，2个线圈外形见图9。制作无线电源发送板与接收板的元件清单参见表1和表2。

2. 显示板

这是动态扫描电路，*X*轴（行扫描）显示用两个74HC595串联驱动，*Y*轴（列扫描）用两块74LS138输出驱动MOS管4953，见图10。特别注意的是，LED点阵没有加限流电阻，由于是动态扫描，在正常工作时每个LED只占整个扫描周期1/16的时间，所以LED模块不会被烧坏，但在程序调试的时候别让扫描停止了，否则的话会烧坏LED模块。其实，在实际调试的时候，应先调试无线供电部分。由于无线供电受到功率限制，峰值工作电压会降到3V左右，对LED模块影响不大，但是如果你用外接电源单独调试显示部分的话，就得注意了。焊接的时候注意上下两个IDC-10插座，位置要准确，最好用尺子定位焊。如果位置偏差过大，旋转起来平衡性就会变差。焊接示意图见图11，制作显示板所需的元件清单见表3。

3. 控制板

控制板部分的原理图见图12，其中

图9 供电线圈

程序框图

```
void main(viod)
{
  init_devices( ); //初始化端口
  while(1)
  {
    FETS_OFF;   //关闭所有MOS管
    delay_nms(1); //延时
    POS_A_ON;   //A+开
    NEG_C_ON;   //B-开
    delay_nms(1); //延时
    FETS_OFF;   //关闭所有MOS管
    delay_nms(1); //延时
    POS_C_ON   //B+开
    NEG_A_ON   //A-开
    delay_nms(1); //延时
  }
}
```

SX1是程序下载接口，SX201-1、SX201-2是连接左、右显示板的。为了提高显示速度，晶体就选用16MHz的。有兴趣的读者可以将此电路板进行扩展，加上串行储存器、时钟电路或者温度传感器等，这些就任你自由发挥了。我的控制板已经加上了串行储存器、时钟电路的位置了，只是还没有使用。特别注意SX201-1、SX201-2两个IDC-10插座，应安装在焊接面，见图13，制作控制板所需的元件清单见表4。

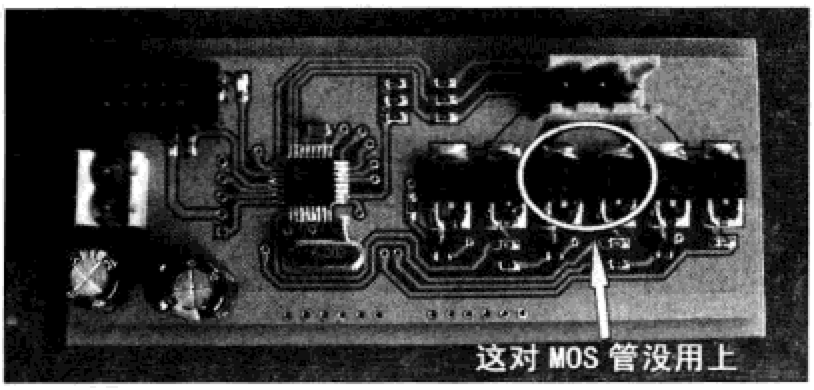


图8 无线电源供给板

表4 控制板元件清单

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	单片机	IC1	ATmega8	1
2	晶体	B1	16MHz	1
3	电阻	R1	RJ-0.25-10kΩ	1
4	电容	C1、C6、C7	0805-0.1µF	3
5	电容	C2、C3	0805-22pF	2
6	电解电容	C4、C5	470µF -16V	2
7	接插件	SX1、SX201-1、SX201-2	IDC-10	3

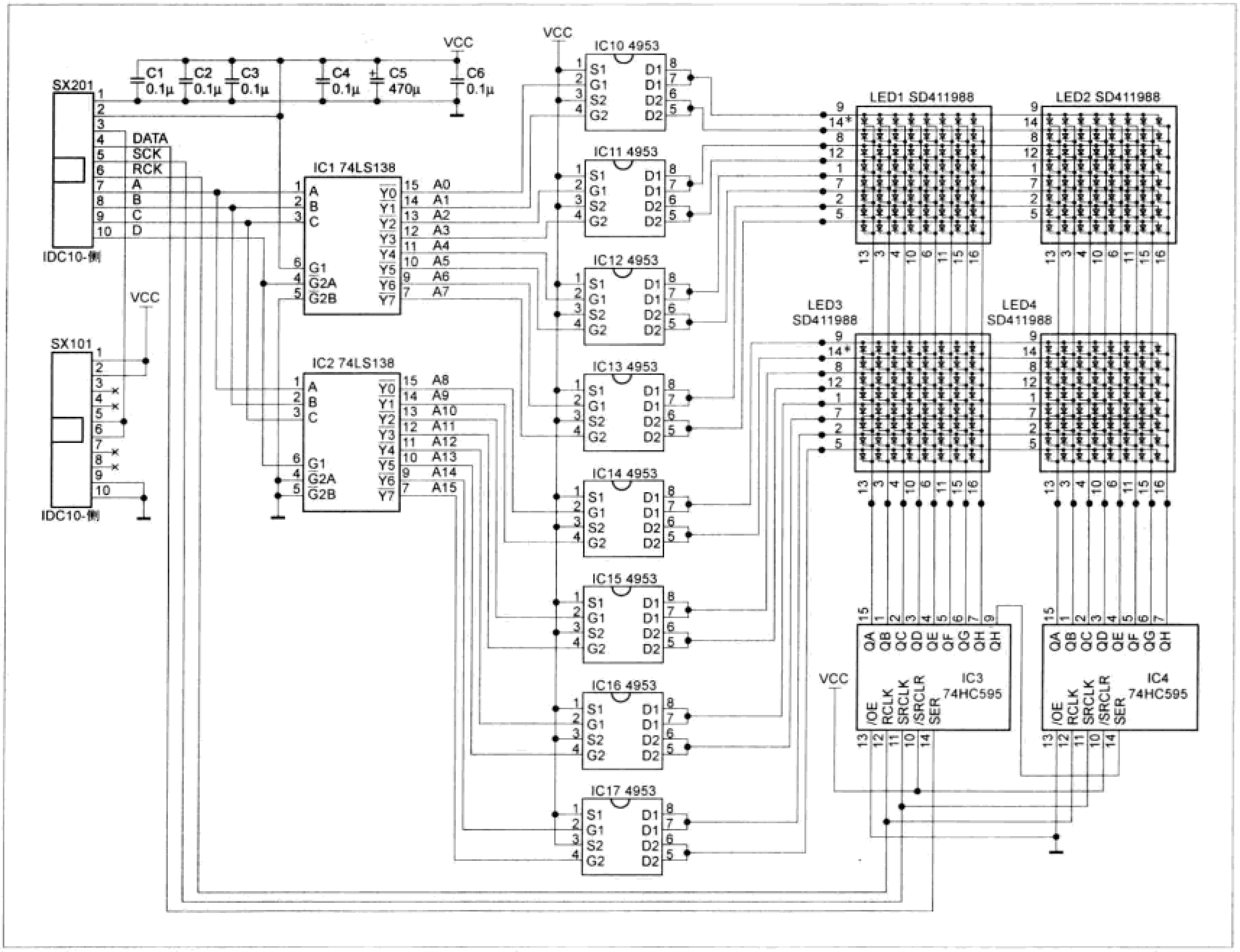


图10 显示板原理图

4. 电机

要旋转就得有电机，由于手头有废旧硬盘的主轴电机，因此，线路板排版的时候就要根据它的尺寸设计。直到调试的时候才发现硬盘电机的扭矩实在太小了，将电路架上去居然启动不起来，还好手头有从同事报废的打印机上拆下的直流电机，这才得以解决。两种电机的外形见图14。注意本装置的旋转方向是逆时针的，如果你的电机是正转的，就把电机的正、负电源颠倒一下，驱动硬盘电机的线路板经过改造就变成了电源供给板，用在无线供电上了。

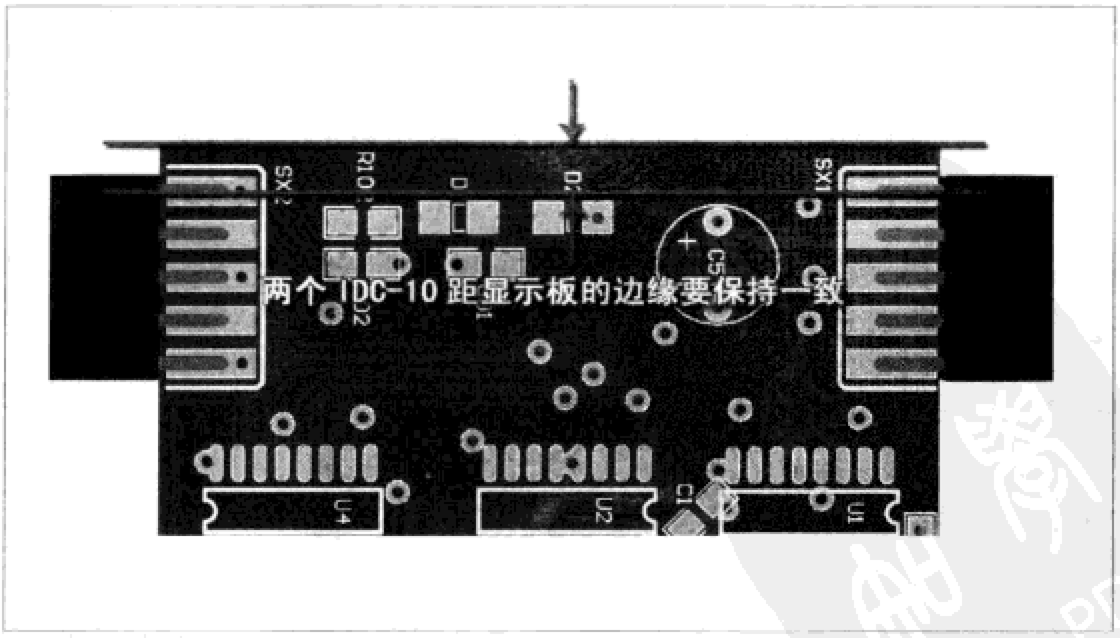


图11 焊接示意图

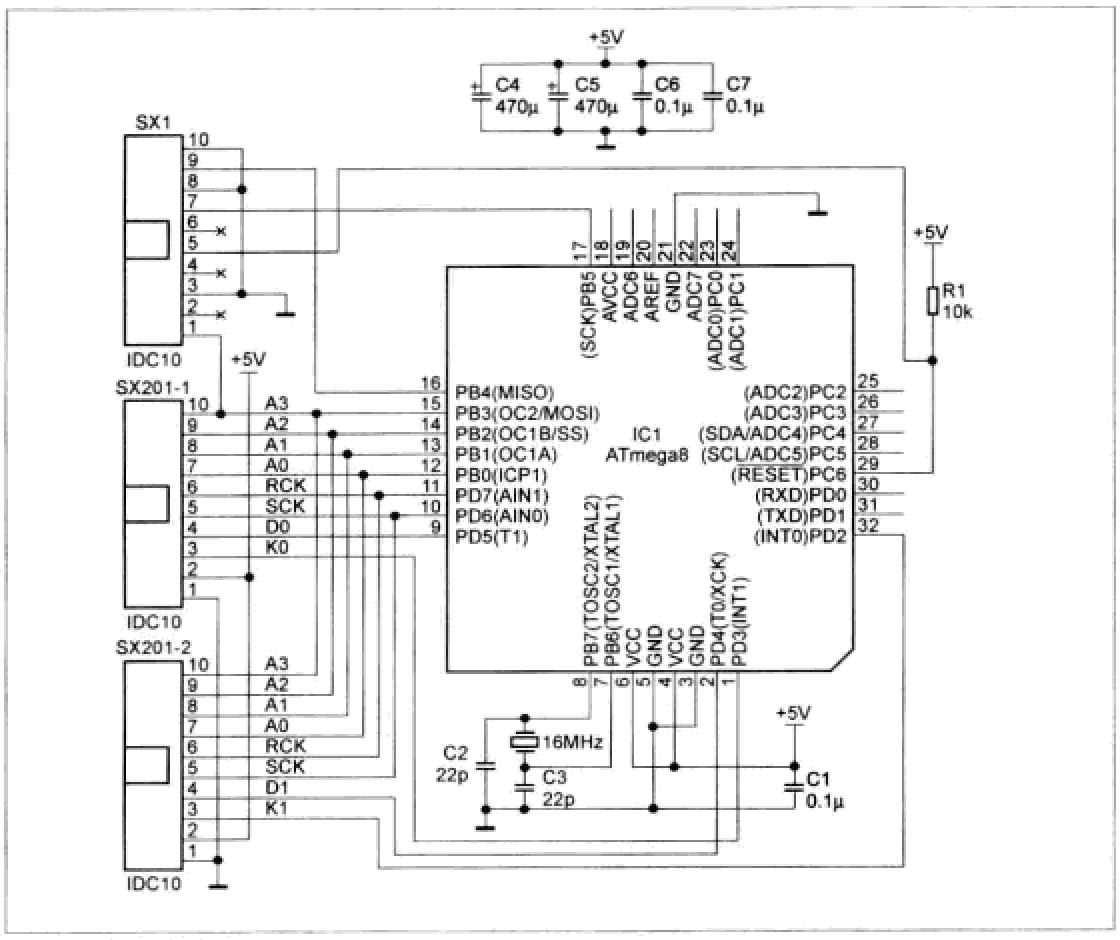


图12 控制板原理图

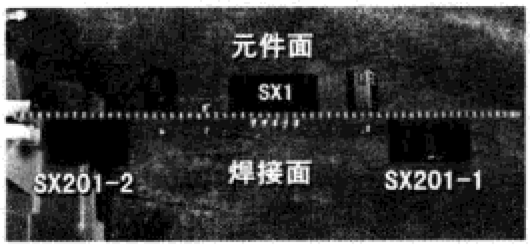


图13 SX201-1、SX201-2的安装方向

图14 两种电机的外形

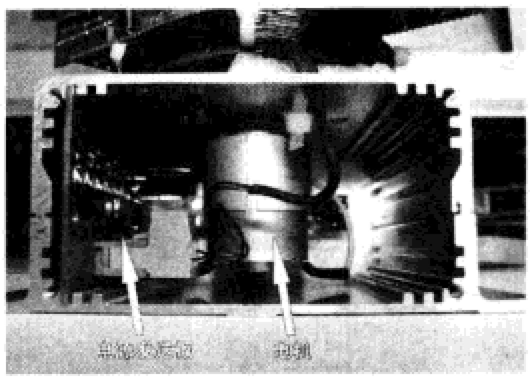


图15 底座盒内部

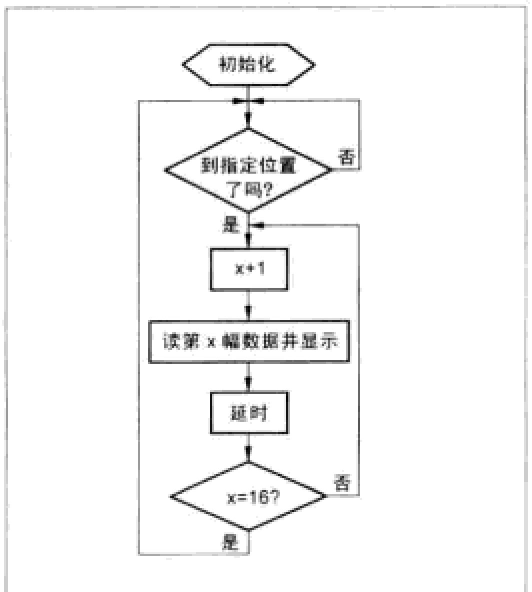


图16 显示程序流程

图17 PCtoLCD2002的设置界面

5. 底座盒

我选择的是100mm × 90mm × 50mm的铝合金盒，内部装上电机、电源发送板，侧面装电机开关、电源插座，表面有电机主轴、发送线圈和定位铜片等，见图15。

程序部分

程序可分为2部分：一个是无线电源供给程序，按照时序编写，主程序部分见程序框图，第二个是3D显示程序，先编了个简单的，可以显示几个结构简单的图形。程序初始化后，检测光电对管测出的起始位置，然后逐帧显示每一屏图形，再返回到检测光电对管就行了，程序流程见图16。难一点的是图形点阵数据转换，我用的是PCtoLCD2002这个软件，设置界面见图17。绘图前脑海里一定要构造出一个虚拟的三维图形来，照着脑海里的图形去画，空间感不强的可能要费点劲儿。

安装调试

1. 焊完所有的线路板，如果是初次焊接贴片元件，最好参阅《无线电》杂志以前介绍的相关文章。

2. 先调试电源供给板、电源接收板，确认线路板无短路、断路，所有元件焊接正确。给无线电源供给板接上12V直流电源，连接下载线，设置熔丝位，下载烧入程序，断电后给供给板接上发送线圈，接收板接上接收线圈，两个线圈放置成同心状态，给供给板通电，测接收板稳压管两端电压应该为5.1V左右，否则电路出错，要重新查找。

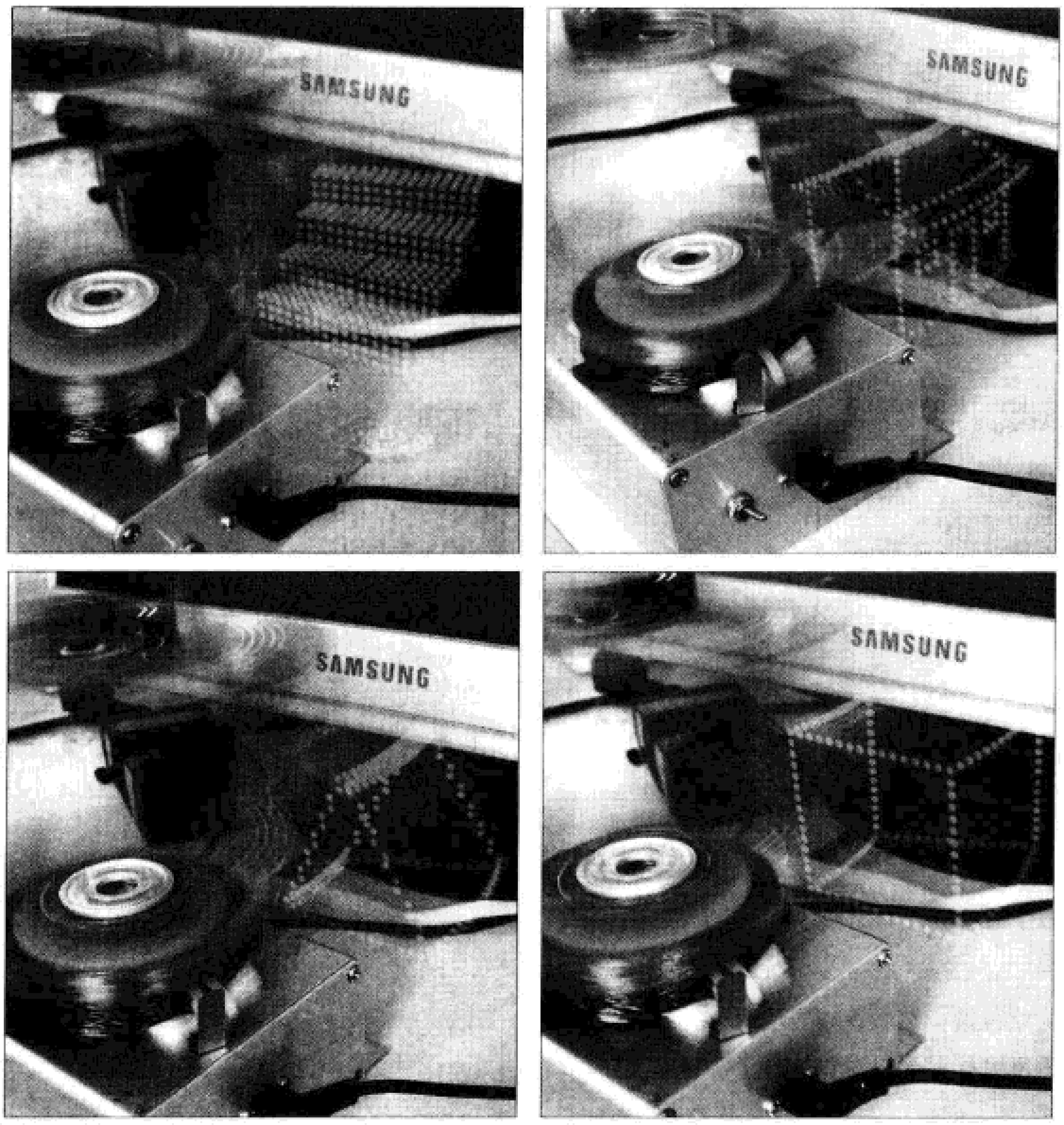


图18 旋转显示效果图

3. 将整套装置安装起来，注意定位铜片在光电对管之间应无碰撞。电机开关处于关闭状态，接通电源，控制板连接下载线，下载并烧入程序，然后去掉下载线，打开电机开关，效果就出来了。显示板转动时要注意安全，显示效果见图18。

需要改进的地方

1. 程序里应加上图形失真校正的算法，否则在实际观看中图形稍微有些变形。

2. 现在的电机是碳刷直流电机，运转了几天都很正常，但还是用无刷直流电机比较好，选功率大一点的，以保证能长时间稳定运转。

3. 显示板上的LED模块焊接在元件面上，从焊接面的方向是看不见的，所以现在的观看视角范围也就是LED模块视角的120°。如果采用普通的LED用镂空的方式，即在线路板的每个LED的位置上钻孔，孔径略大于LED，LED垂直镶嵌在孔内，这样从焊接面的方向也能看得到。也可以在元件面和焊接面相同的位置同时焊贴片的LED，这样的话两个面都能看，就可以在接近360°的范围观看了，只是线路板排版的时候要复杂点。

4. 若平衡性不好，旋转起来后振动幅度就会较大（比手机振动模式要大得多），调平衡的时候费了些时间，主要是垂直度和高度的校准，用绘图的直角三角尺的直角部分一边贴着桌面，另一边靠近显示板的侧面，从正面和侧面两个方向进行垂直校准，调好后用热熔胶固定，见图19。

后记

3D旋转装置终于做完了，从一个想法到一个实际的装置，前后用了一个多月的时间，整体出来的效果还是挺满意的。这个装置用电机带动旋转，制作的时候应注意安全，小心手被划伤了，可以加个透明罩提高安全性。兴趣和爱好再加上灵感和知识，创作出自己设想的作品，与他人分享，让别人感受到你的快乐，这或许就是DIY的乐趣。

■ 文章相关的源程序和电路图文件可以到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

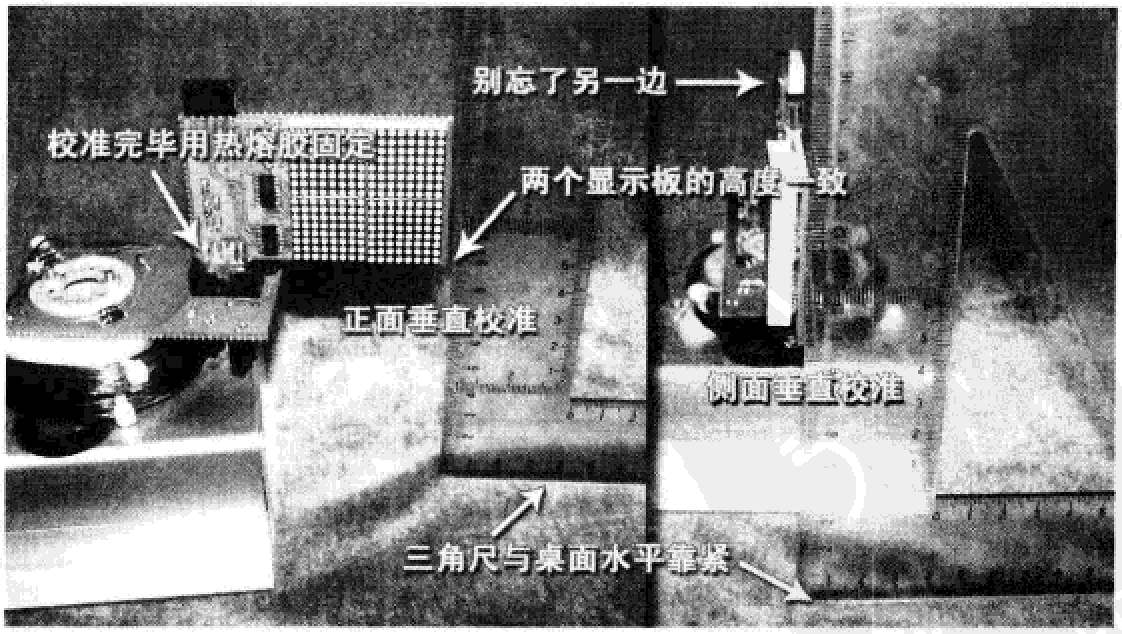


图19 调平衡

手把手教你DIY迷你单片机学习板

◎石学军

单片机是一门实践性非常强的学科，复杂的中断系统和寄存器往往让初学者觉得晦涩难懂。如果仅仅是理论学习和纸上谈兵而不经过任何实践，套用平凡老师以前的一句话——“我劝您还是趁早放弃。”

为此，我们设计了这款小巧的单片机编程实验板，成本低廉，同时具备了单片机的编程和基本的试验功能，适合新手学习制作。为了确保您能够按照本文介绍的方法制作成功，特别建议您在此之前先学习基本的电子知识和焊接技巧。

迷你单片机学习板的特点

1. 它可以直接支持STC89C52RC单片机的烧写，可以把程序写入单片机并实验。

2. 它是一个多功能的51单片机试验板，配合我们提供的范例程序。您不需要另外购买其他任何材料即可完成51单片机的流水灯、小键盘、数码管动态/静态显示、计数器、扬声器报警/唱歌、串口通信试验、24C02扩展、外部中断等试验。

学习使用此编程板对计算机的要求是：操作系统是Windows 98/me/2000/xp或者Windows 7，硬件配有USB接口即可。

图1所示是这个学习板的工作示意图，即通过USB接口，将计算机中的程序用STC_ISP软件下载到单片机中，然后程序自动在学习板上运行，用户会看到程序运行结果。

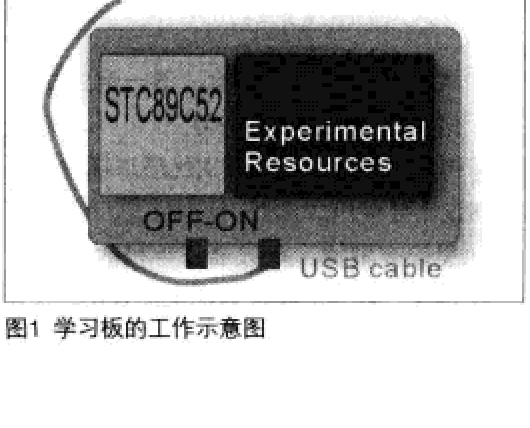


图1 学习板的工作示意图

为了方便用户，我们还特别设计了外接两个8Pin IO接口，可以通过连接将板上的IO口，外接扩展电路实现不同的功能，学习板的电路原理见图2。以下有关引脚的描述均是指QFP44封装的STC89C52单片机，和常见的双列直插DIP封装引脚不同。

目前很多计算机主板设计已经取消了串口，为此我们集成了USB转串口芯片PL2303HX，可以直接使用USB口来通信和供电。

制作过程

整机电路较为简单，按照一般的电路板制作原则，先焊接高度最低的元件，如贴片电阻、贴片电容、贴片IC等，然后清理电路板，再焊接较高的元件，如晶体、扬声器等，最后再焊接较大的零件，如插接件、数码管。为了美观和减小体积，我们使用了全贴片元件，而不是传统的DIP元件，这样对新手会增加一些制作难度。可能有的读者会问，如果是芯片坏了或者想要换芯片，岂不是很麻烦？实际上STC89C52单片机可以支持上万次擦除和写入，那时您早已学会了单片机的使用。而现在随着电子技术的发展，贴片元件已经是元器件市场的主力军，小型化和贴片化也是该行业的必由之路。

单片机学习板所包括的硬件资源

1个实验芯片STC89C52
8个Led指示灯（接P1.0~P1.7引脚）可做跑马灯试验，或IO状态指示
4个小键盘（接P3.2~P3.5引脚），一端接IO，一端接地，按下小键盘时相应的端口变为低电平
1个扬声器（接P3.3引脚）用作唱歌或者报警试验
1个硬件复位
2位动态扫描数码管分别接P2.6和P2.7引脚
1个USB转232通信接口
1个扩展储存器24C02
1个电源开关，用于冷启动单片机
1个复位键，在实验时通过按此键，使得试验部分复位运行，重启程序
1个MINI USB接口，用于学习板的通信和供电

制作所需工具：

1. 30W左右的尖头烙铁
2. 海绵泡沫，用于清洗电烙铁头
3. 优质焊锡丝
4. 松香水（可把松香磨碎加酒精自制）
5. 镊子
6. 放大镜
7. 万用表

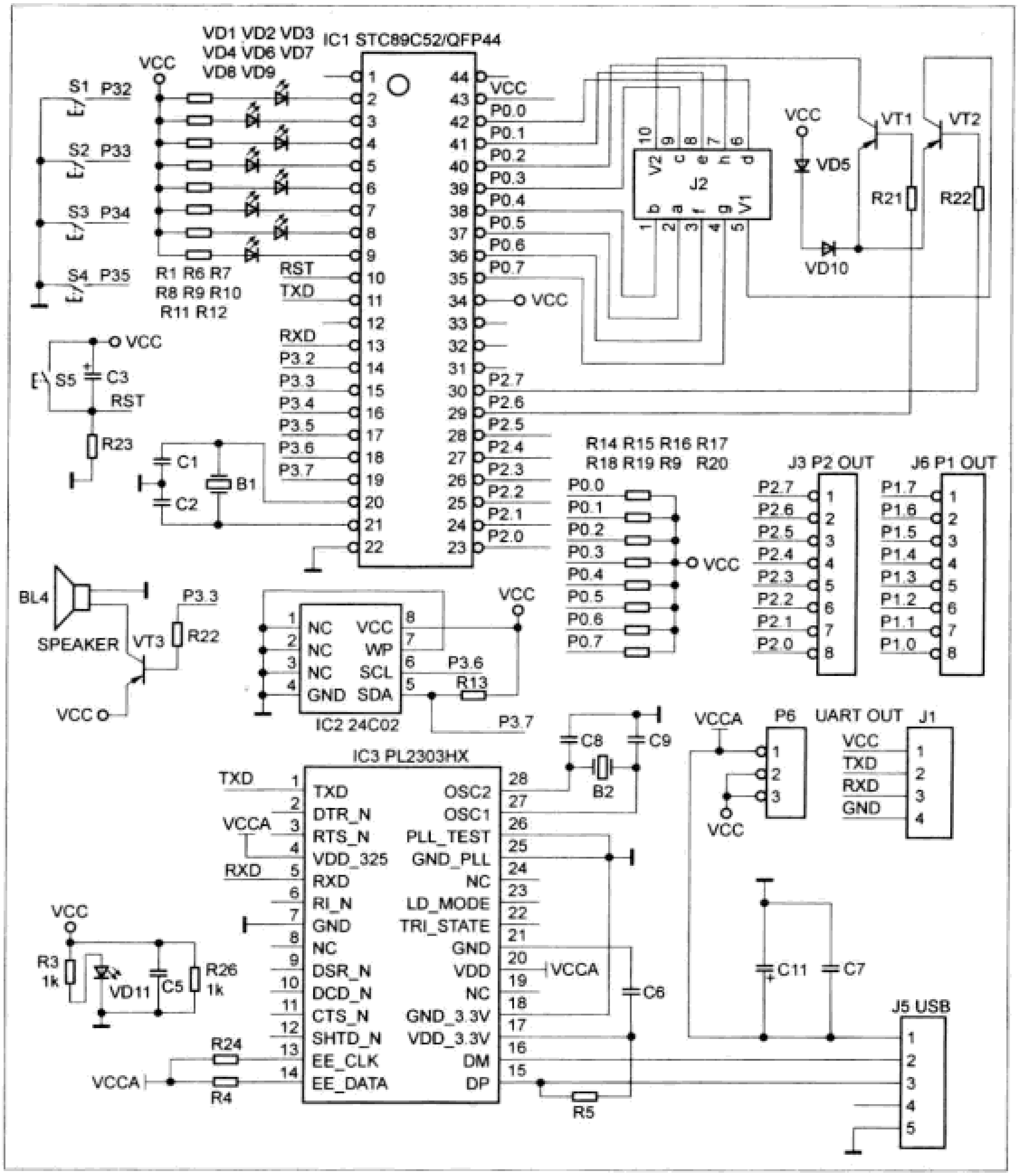


图2 学习板电路原理图

1. 焊接主芯片

主芯片为QFP封装的STC89C52，这里需要看清楚芯片的引脚和方向， PCB有标记圆圈的地方与IC芯片上有圆圈的地方相对应，先仔细地对准芯片和焊盘，用烙铁焊接固定的几个引脚，然后在芯片四周引脚上均匀涂抹松香水，接着可将焊锡堆在引脚上，用烙铁拖动即可甩掉焊锡。如果最后有一些引脚的焊锡拖不掉，可以取一截导线，将表皮剥掉，然后沾满松香水，配合烙铁加热，可将多余的焊锡吸走，见图3。完成后可以用同样的方法，焊接PL2303HX 以及24C02芯片。

2. 焊接电阻

一共26颗电阻，3种规格，10kΩ的电阻标记是103，1kΩ的电阻标记是102，另外有一颗120Ω的电阻标记是121，这个电阻的作用是作为整机的负载，在关闭电源开关时，将整个板子的电压强行拉低，否则系统就不能复位了。如果不确定阻值，可以用万用表测量一下。

3. 焊接贴片电容

共8颗电容，有两种容量规格，一种是104（也就是0.1μF），一种是22pF。他们也可以通过颜色来区别，黄色的是

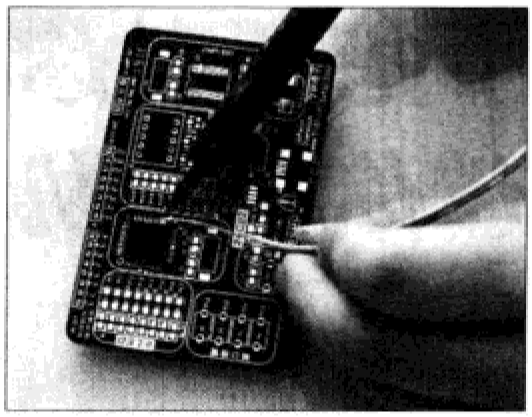


图3 焊接主芯片

104，灰白色的是22pF。

4. 焊接发光管、三极管和二极管

一定要注意焊接方向，如果焊反了，板子将不能正常工作。

5. 焊接贴片电解电容、贴片晶体、按键和扬声器

相对来说这些都比较容易，除贴片电解电容外，其余都没有极性。

6. 焊接USB接口、数码管和开关

这里要特别注意，这个USB接口用手工焊接比较困难。可以先在USB上加好焊锡和松香水，然后把烙铁头用海绵洗干净，用烙铁的温度融化USB头上的剩余焊锡即可。最好不用拖锡的方法，容易造成连锡和短路。为了增加焊接成功率，建议新手用剪钳把USB接口后半部分的铁片剪掉，使烙铁更容易操作。

组装成功后的效果见题图，仔细检查一遍，用万用表量一下电源是否短路，没有异常即可以开始进行调试。

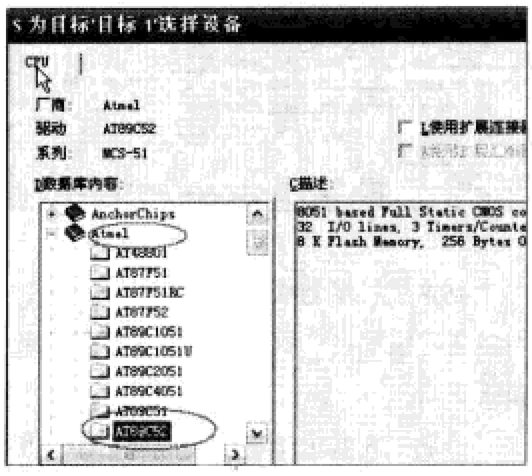
Tips1：焊接前的准备

1. 如果没有太多焊接经验，请一定先找一个报废的电路板多多练习。
2. 焊锡丝很重要，建议使用优质焊锡丝。
3. 建议不要使用焊锡膏。
4. 如果没有把握，可以请修手机的师傅帮忙焊接，损伤电路板就很难补救了。

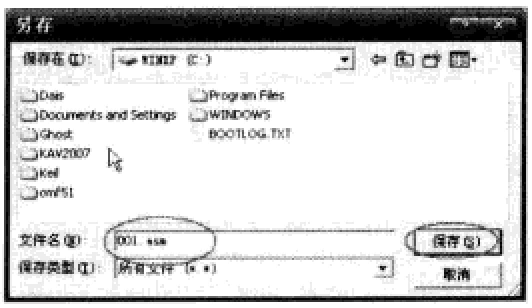
KEIL软件的安装与使用

直接拷贝keil文件夹到C盘的根目录，去掉文件夹的只读属性（注意，必须是C盘根目录，不要安装在其他目录），双击keil\uv2\uv2.exe即可运行软件。

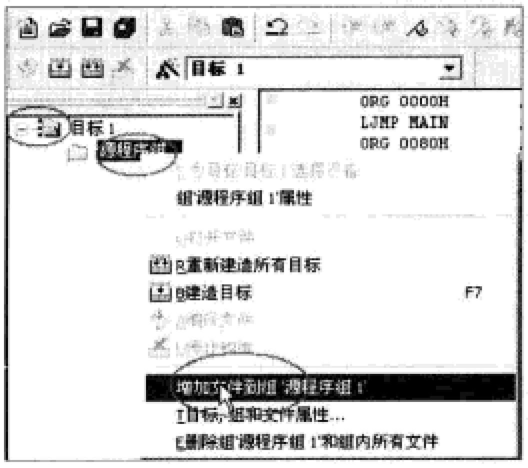
1．点击Project（工程）菜单，选择New Project（新工程），在文件名中输入你的第一个程序项目名称，假定我们使用“test”程序。“保存”后的文件扩展名为uv2这是KEIL uVision2项目文件扩展名，以后我们可以直接点击此文件，以打开先前设计的项目。注意输入的时候不要输入文件的后缀名，使用默认即可。为了查找方便，假定我们保存在C盘的根目录。这时会弹出让您选择单片机型号的对话框，我们选择Atmel－AT89C52。注意我们实际使用的是STC89C52，它们的基本资源是一致的，不必理会。



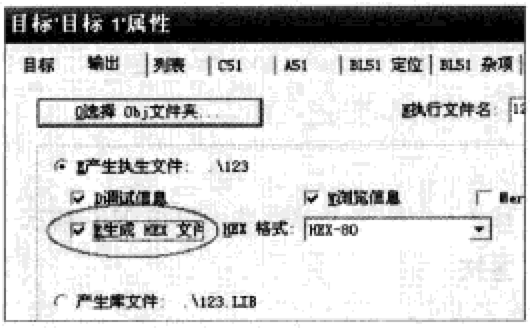
2．汇编源文件的建立：点击FILE（文件）菜单中的NEW（新文件）命令，新建一个文本编辑窗口。在里面输入一个程序范例，如流水灯程序，然后点击FILE（文件）菜单中的SAVE（保存）命令保存文件，必须输入文件的后缀名.asm，例如保存为C:/prog/001.asm（注意不要有中文目录，文件名不超过8个字符，否则编译不通过！如果是第一次使用，建议直接保存在C盘的根目录，文件名同样取001.asm，不要保存在其他地方）。



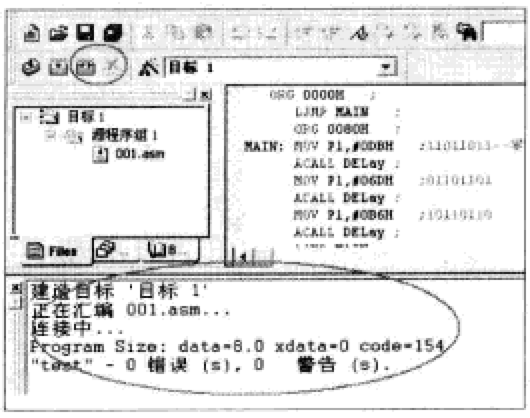
3．点击Target 1（目标1）前面的“+”，出现Source Group 1（源程序组1），选中右键点选“Add files Group Source Group 1”（增加文件到源程序组1），这时选择文件类型为asm，再选中001.asm文件，再按Add（添加），在随后的提示框中按“确定”即可。



单击“Project”（工程）菜单，再在下拉菜单中单击“options for target 1”（目标1属性） 在下图中选择output(输出)“Create HEX file”（产生HEX文件）的选项，以便汇编后生成HEX代码。



4．点击图标进行编译（或者按F7快捷键），编译成功后会在软件下方的提示框中出现汇编结果的提示信息，图中显示没有错误和警告，表示编译成功。

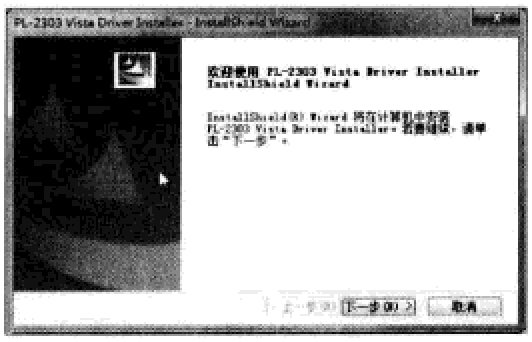


此时，在C盘的根目录中就生成了test.hex文件，有了这个HEX文件，我们就可以用ISP方式烧写到单片机进行实验了。

安装USB驱动程序

本文以Windows 7操作系统为例，介绍安装PL2303HX的USB驱动程序。请读者到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载Windows xp、Windows vista或者Windows 7操作系统下的驱动程序。

1．双击驱动程序PL-2303 Vista Driver Installer.exe进行安装。



2．点“下一步”，然后是点“接受许可协议”再点下一步，稍后就会显示完成的界面。

Tips2：单片机工作的必要条件

1. 电源

这个好理解，巧妇难为无米之炊，没电源当然不能工作啦。对于QFP44封装的STC89C52单片机而言,22脚接地，44脚为电源5V,本系统中电源直接取自USB电源5V。

2. 时钟晶体

Pin21时钟XTAL1脚，片内振荡电路的输入端，Pin20时钟XTAL2脚，片内振荡电路的输出端。8051的时钟有两种方式，一种是片内时钟振荡方式，但需在20和21脚外接石英晶体(2～12MHz)和振荡电容，振荡电容的值一般取10～30pF。另外一种是外部时钟方式，即将XTAL1接地，外部时钟信号从XTAL2脚输入。

3. 复位

电路中C3、R23、S5构成了上电复位和手动复位，在正常情况下上电，电源通过R23给C3充电，从而在C3两端形成脉冲，促使单片机复位，如果按动S5，相当于短接C3，重复上述过程，单片机将强行复位。

4. 存储器的选取

EA端（即34引脚）接电源（即EA端为高电平），是选择了读取内部程序存储器。

总之，满足了这4个条件，单片机就可以正常工作了。如果系统故障，就需要从这4个方面着手检查。

另外有一个问题需要注意：由于本机为了减低制作成本，使用了价格低廉的PL2303HX的USB转232芯片，为此可能存在某些电脑主板和操作系统中不能正常运行的情况，如果您无法安装USB驱动，建议您换一台电脑实验。

3.用USB线缆连接学习板和计算机USB接口，打开系统的“控制面板/硬件和声音/设备管理器/端口。

4.稍后在端口下出现Prolific Usb-to-Serial Comm Port(COM6)，表示成功安装了USB驱动程序，其中COM6是系统分配给USB的虚拟串口号，以后在使用串口的时候选择COM6就可以了。根据你的系统安装USB设备的不同，也可能会出现COM3、COM5等。您也可以单击这个端口，点右键：属性/端口设置/高级/COM端口号，来更改为你喜欢的端口号。

USB驱动程序安装成功以后，直接打开配套驱动文件夹的STC下载软件STC_ISP_V480.exe。此软件运行时，有时会反复提示需要配置office 插件，这个不用理会，直接点击取消即可。另外经过测试，我们发现4.88版本和4.83版本不能正常使用，建议大家用4.80版本。

Tips3：安装USB驱动程序失败的解决方法

如果在安装的中途出现退出或掉电等问题，造成安装失败。这时，可以在设备管理器中卸载带有黄色感叹号的USB设备，然后重复安装步骤。如果您不知道现在系统分配的USB端口号，打开设备管理器一看便知。

首先选择正确的单片机型号（这里是选择STC89C52RC）。打开一个配套程序文件夹的测试程序（HEX格式文件），然后选择串口号和波特率。注意关闭其他可能用到串口的软件，比如编程器、仿真器等，避免争抢串口，波特率按默认设置即可。在本例中，串口号使用的是COM6，软件的其他设置均按默认，最后点击Download/下载程序（特别注意：必须先关掉电源开关，再点击下载程序，然后打开电源开关，冷启动单片机，否则会下载失败）。如果下载正常，窗口会有下载成功的提示，学习板也会自动开始运行。

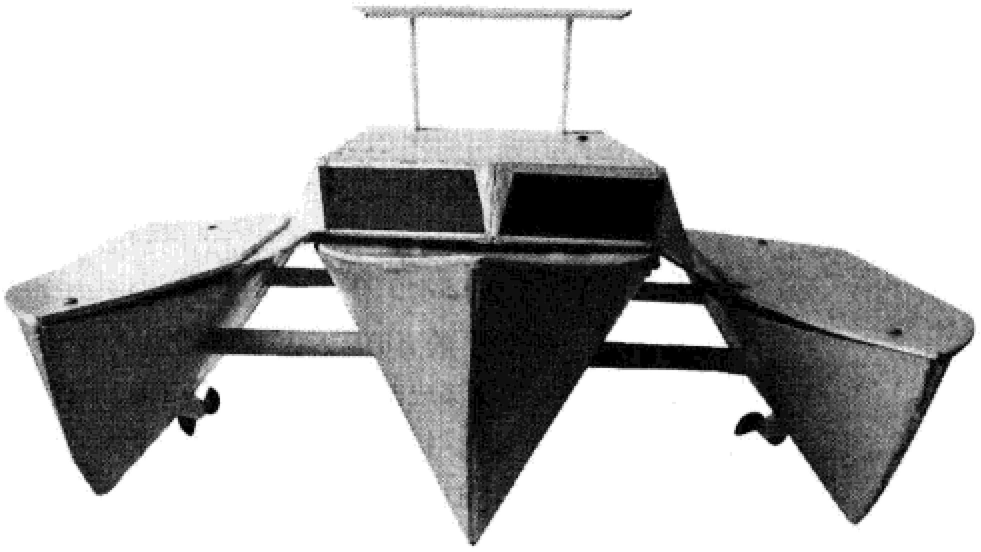
到这里，学习板就算调试成功了，您可以自己烧写各个程序，验证各部分实验是否正常。

最后，祝各位读者组装成功，单片机世界的大门将从此为你敞开。

套件赠送

本文介绍的套件由《无线电》杂志社联合51测试网向读者免费赠送50套，感兴趣的读者朋友可发邮件至radio@radio.com.cn 申请，邮件以“申请迷你单片机学习板”为标题，然后在邮件中写出申请人姓名、地址、联系电话。

申请截止时间：2011年10月30日



自制三体船模

◎陈天裕

自己动手做一艘船模是我儿时的梦想，现在我终于做到了。如果各位爱好者玩腻了小车，不妨试试自己动手制作船模，利用遥控器控制小船在水上驰骋的感觉更加美妙！

系统总体

船体主色为黄色，船身尺寸约为360mm×220mm×110mm，主要由PVC板、塑料管、AB胶制成的一个主体船身和两个辅助船身组成。主动力电机和控制模块安装在主体船中，两个差速转弯电机各安装在辅助船身中。系统控制部分由六路遥控发射与接收模块、单片机处理模块、电机驱动模块组成，见图1。系统监控部分由温度传感器、霍尔开关、单片机处理模块、液晶显示、蜂鸣器组成，见图2。

船体制作

1. 船身特点

（1）雪茄船体——细长的船体结构保证了在行驶时既有效降低了水的阻力，又减小了风阻，有利于高速行驶。

（2）三体船结构——这样船体的结构可以保证高速行驶的稳定性，特别是在高速转弯时，能有效降低船身的倾斜，防止侧翻。

2. 制作步骤

制作所需的材料有：PVC板、AB胶、6mm塑料管、5mm×2mm小轴承、黄油等。

（1）主船身、辅船身及其船身连接

根据图3所示的设计图在PVC板上用铅笔按照尺寸画好，然后用美工刀沿着三角尺切下，再用AB胶固定好。制作好3个船身后，通过在船身打孔，就可以用塑料管把3个船身连接起来，并用AB胶加固。

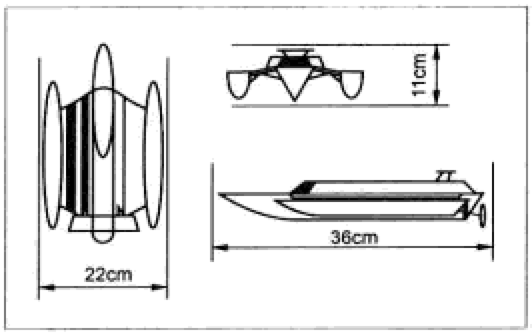


图3 船身视图

（2）制作甲板

在PVC板上按照设计好的尺寸画好，然后用刀切下，再用AB胶固定好，图4所示是甲板正面视图，上面的造型部分可以自由发挥。图5所示是甲板背面，那个小盒子是用来安装遥控器接收模块。

（3）螺旋桨制作与安装

螺旋桨的制作方法是先在铁片上画好尺寸，然后用剪刀剪下，再用钉子打一个2mm的小孔,套上直径2mm的钢轴，最后使用AB胶固定，见图6。螺旋桨是通过小轴承安装，两个小轴承套在塑料管两端，塑料管中间加入黄油，用来防水。

电机安装见图7，使用两片PVC板夹住电机平整的两个面，再用铜线绑紧。电机转轴通过橡胶套与螺旋桨轴连接。

电机控制部分

电机控制部分的电路原理见图8。电机控制的主芯片是STC11F02E，它内置

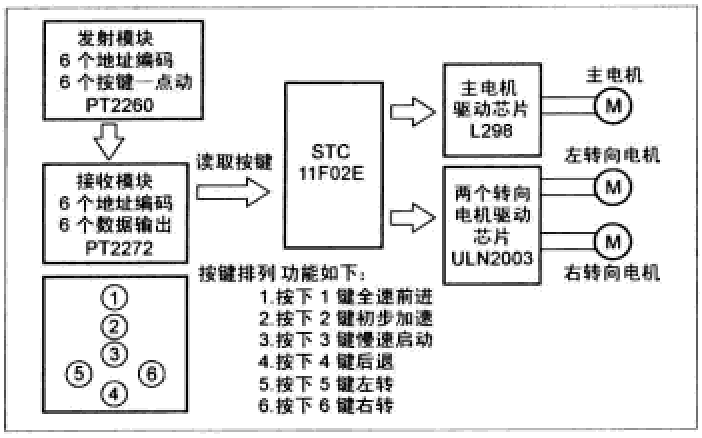


图1 系统控制部分

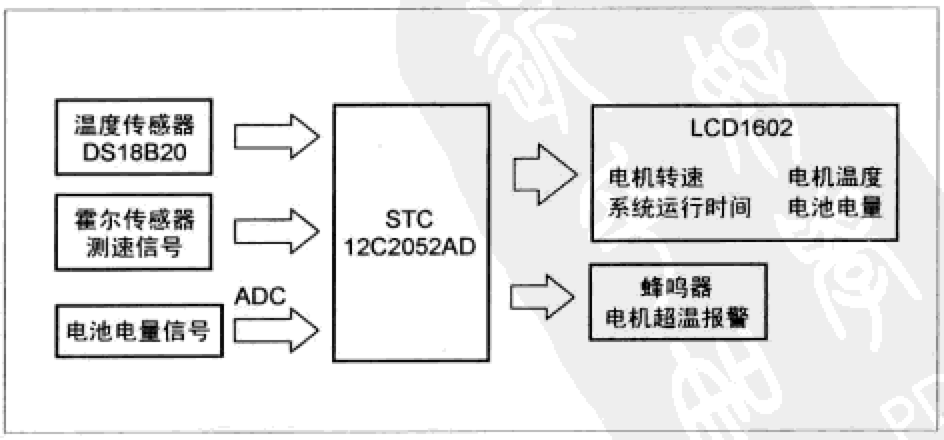


图2 系统监控部分

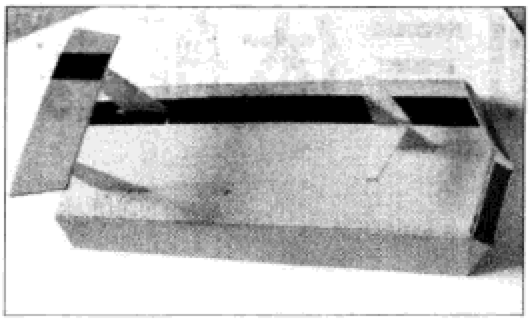


图4 甲板正面视图

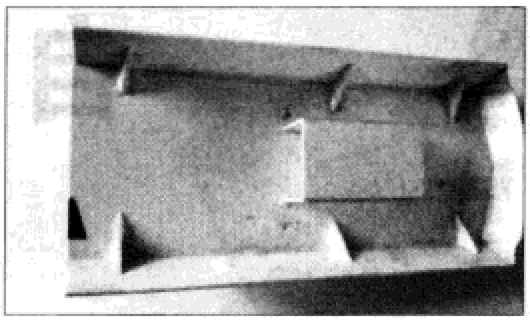


图5 甲板背面视图

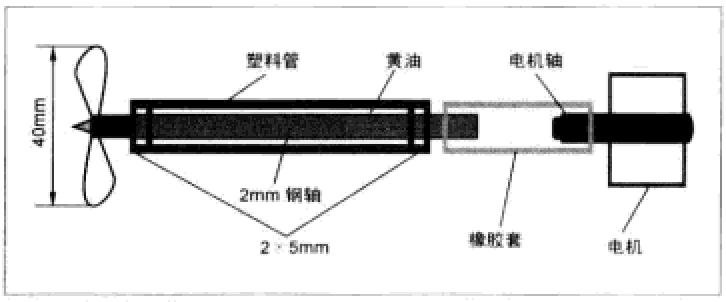


图6 螺旋桨示意图

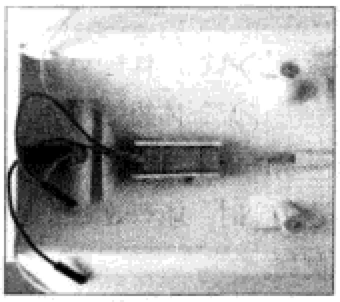


图7 电机安装图

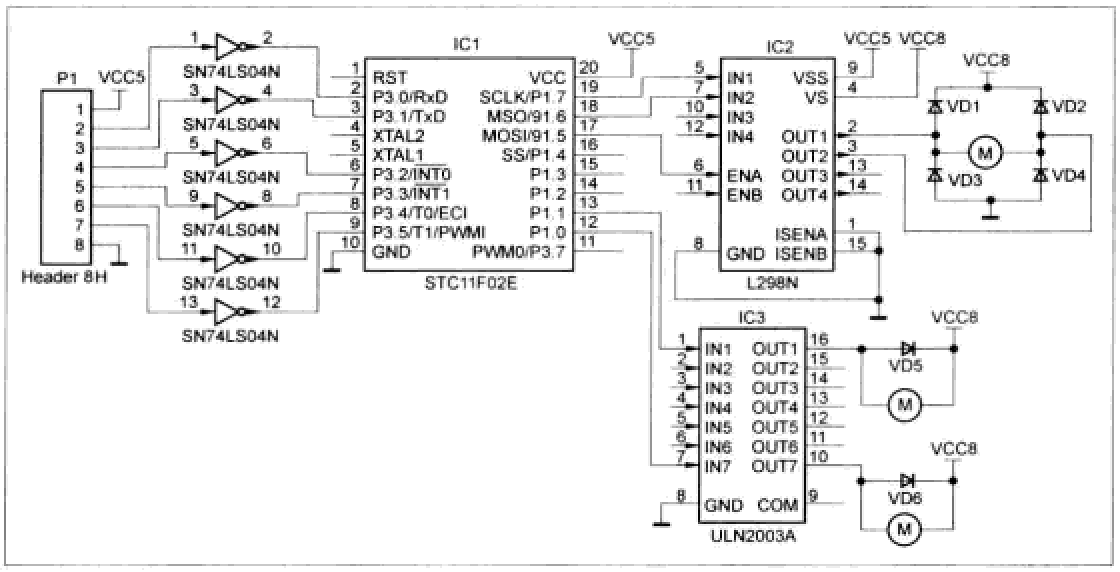


图8 电机控制原理图

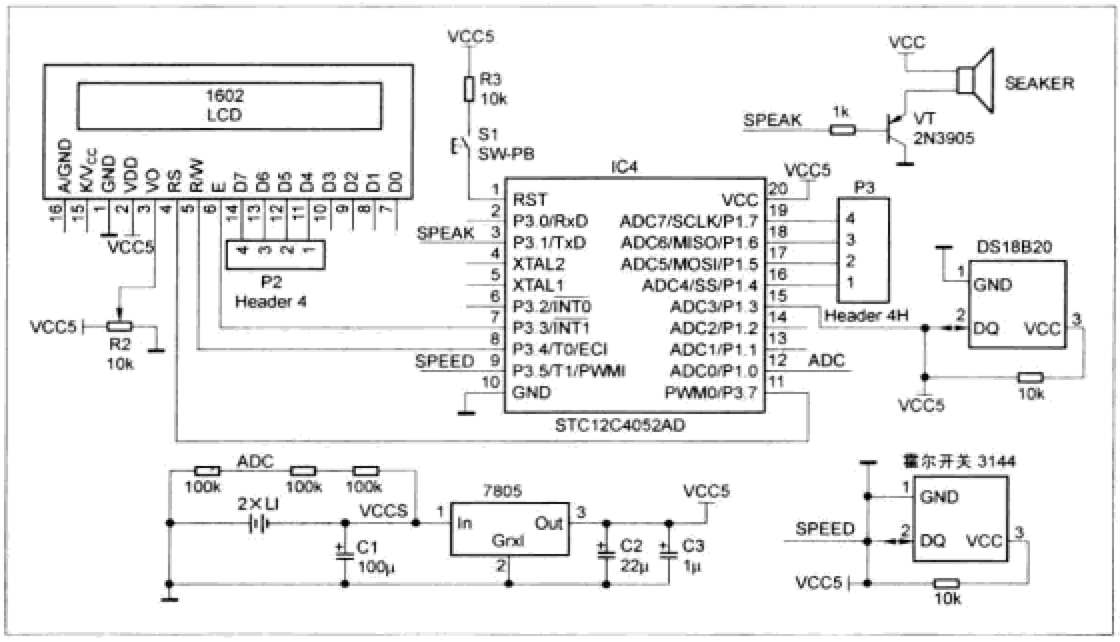


图9 系统监控部分原理图

约6MHz的RC振荡器，2KB的片内Flash程序存储器。主电机驱动用的是ST公司的L298N集成芯片，最高电流为4A，内含2个H桥的高电压、大电流双全桥式驱动器，该集成电路具有较强的驱动能力和保护功能。特别是它的输入端可以与单片机直接相连，从而很方便地受单片机控制。

辅助电机驱动采用ULN2003，它是高耐压、大电流复合晶体管阵列，由7个NPN复合晶体管组成，具有电流增益高、工作电压高、温度范围宽等特点。

Header 8H接口与接收模块信号输出连接，通过反相器滤掉干扰纹波，再与单片机P3.0~P3.5引脚相连接，然后单片机根据预先编码，控制电机运行状态。

遥控部分采用的是配对的SC2262编码芯片和SC2272解码芯片。

SC2272遥控接收板上的2272解码芯片有不同的后缀，表示不同的功能。T表示自锁输出型，L表示互锁输出型，M表示非锁输出型，后面的数字表示有几位数据。例如SC2272-M6表示6路非锁输出型。

系统监控部分

系统监控用的主芯片是STC12C4052AD，同样内置约6MHz的RC振荡器。它还具有4KB的片内Flash程序存储器，内置8bit的AD转换和两路PWM输出。

两块锂电池的串联电压在8V左右，用内置AD转换和3个100kΩ的电阻串联再与电池组并联，就可以取样得到三分之一的电池电压。单片机的P1引脚都可以设置为模拟量输入端口，这里只用到P1.0引脚。根据锂电池端电压与电量的关系，可以知道电池的电量。温度传感器DS18B20与P1.3引脚相连，芯片紧贴在主电机上。霍尔传感器3144与P3.5引脚相连，通过定时访问计数器算出转速。显示屏使用LCD1602，为了节能可以把背光灯关掉，采用4线数据驱动，接线方便又节省端口。

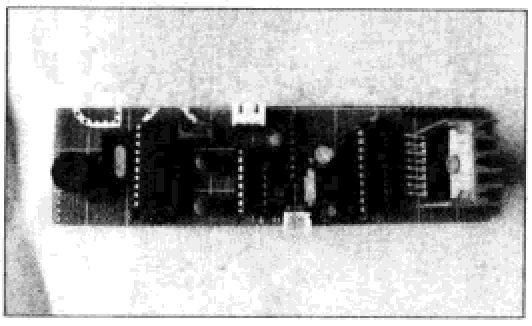


图10 控制主板

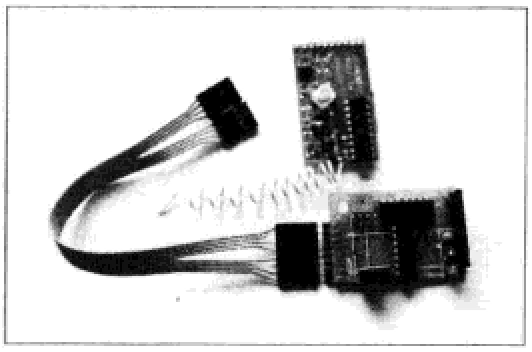


图11 接收和发射模块

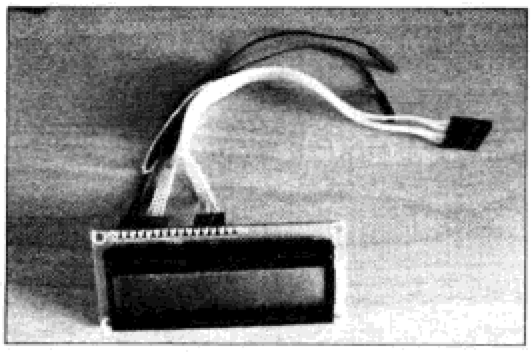


图12 液晶显示模块

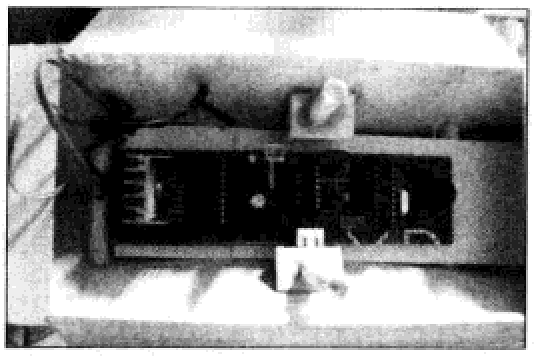


图13 控制主板的安装示意图

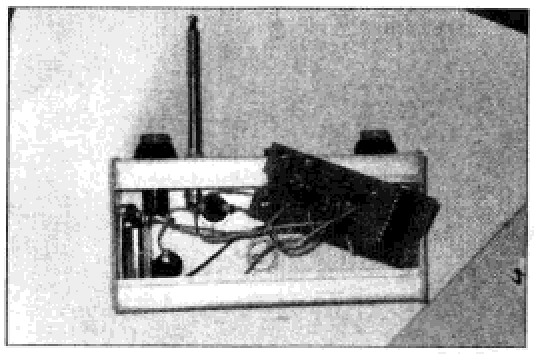


图14 制作遥控器

1. 主控板的制作

制作所需要的元件见表1。为了节省空间，电机驱动模块和系统监控模块焊接在同一块万用板见图10。元件布局要注意散热，所以L298放在板子的一端，并加散热片。L7805发热较小，放在中间侧方便焊接。接收模块见图11，输出端通过反相器滤去干扰，并把信号取反，方便与单片机连接。这两个小板用10pin排针与排母相连接，输出端通过8pin杜邦线与单片机和电源连接（6根信号线和2根电源线）。显示部分采用LCD1602液晶，见图12，用10pin杜邦线（4根数据线、3根控制线、1根调对比度、2根电源线）与系统控制部分相连。

控制主板在船体的安装见图13。首先在船体两侧伸出两条柱子用来固定上面的甲板，然后在主电机上方，两根柱子之间插入一块大小合适的PVC板，我们就可以把控制板放在PVC板的上方，正好处于两根柱子底部之间，液晶屏放在船尾，用热熔胶固定。

2. 遥控器的制作

首先，用PVC板做一个130mm×28mm×62mm盒子并喷好黄漆，用小电钻打5个直径为12mm圆孔和一个直径为6mm圆孔，见图14。装上圆形按钮开关并拧紧，接下来把发射模块上的小按键，通过飞线移植到固定在小盒子上面的按键（注意区分按键公共端），然后固定好发射板和8V小电池，盖上后盖，用螺丝拧紧即可。

程序介绍

1. 电机控制部分程序。按原理图定义好每个按键的端口，通过判断哪个按键按下，然后执行此按键控制的电机状态。包括3级变速、后退、左转和右转。

表1 元器件列表

元件名称	数量	元件名称	数量
STC12C4052AD	1	74LS04	1
STC11F02E	1	蜂鸣器	1
11.0592MHz晶体	1	IN4007二极管	6
L298N	1	10kΩ可调电阻	1
ULN2003A	1	1kΩ电阻	1
LCD1602	1	10kΩ电阻	3
DS18B20	1	100kΩ电阻	3
3144霍尔开关	1	电解电容 100μF、22μF、1μF	各1个
L7805	1	陶瓷电容104、473	若干
8550PNP三极管	1	杜邦线20~30cm	若干
小普磁钢	2	轻触按键	1
6路遥控器	1		

2. 系统监控部分程序。程序包括4个部分——中断显示时间、转速测量及显示、温度测量及显示、电量和电压显示。

设定11.0592MHz为系统的工作频率，T0每计数完46080次即50ms，中断响应一次，通过中断服务程序得到比较准确的时间1s。通过在一定时间内访问T1计数器的值，知道这段时间电机转了几圈，然后计算出转速n。

待改进的地方和制作感想

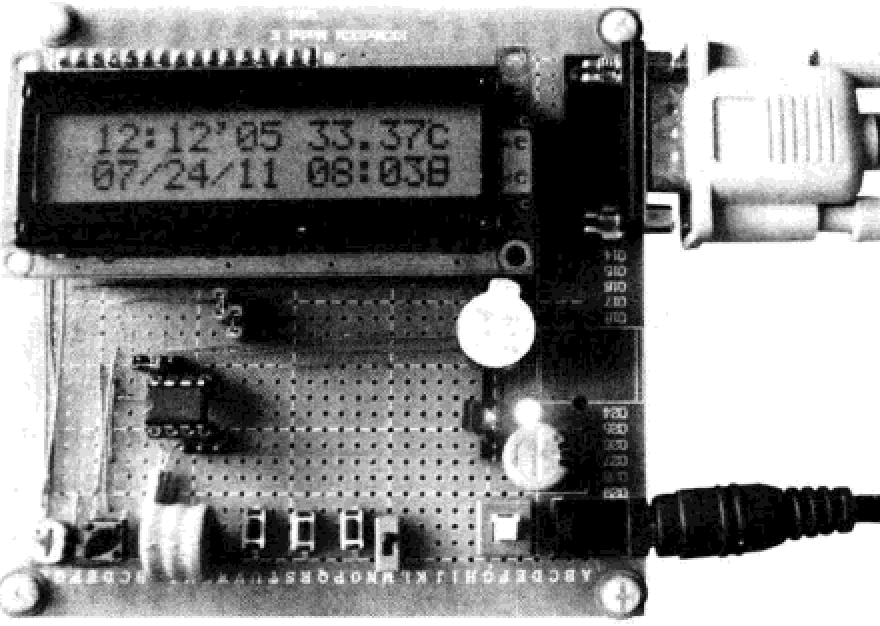
1. 在遥控器方面的改进，可以换成用无线数据模块做遥控器，然后把显示模块内置在遥控器里面，这样就一目了然了，而且可以把有级调速改进为无级调速，让小船运行更加平稳。

2. 由于船舱通风条件不好，如果是长时间运行，L298N会过热，可以加一个小散热风扇。

初步完成船模，基本实现设计初衷，同时对单片机有了进一步的了解。有兴趣的读者如果对本系统的制作还有进一步的改进建议，欢迎大家和我交流。

■ 文章源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

用PCF8563制作的电脑校时日历钟



◎卫小鲁

数字时钟种类很多，虽然它的作用就是——显示时间，但是具体实现起来，方法却多种多样。通过制作电子时钟，我们可以附带学到很多东西，所以大家也喜欢制作它。

电路原理

电路原理图如图1所示，硬件接线比较简单。字符液晶1602通过插针和排针座与电路板连接，MAX232和9孔D型串口插座J2用于STC单片机的程序下载以及和计算机通信，实现与计算机上时间的同步。IC3是实时时钟电路PCF8563，它的电源串接有二极管VD2，总电源接通时，通过它给PCF8563供电。断电过程中，后备电池GB通过R5以很小的电流（0.25μA）维持PCF8563继续工作，同时，二极管可防止BAT向其他电路供电，以免电池很快耗尽。电阻R6、R7是I²C总线的上拉电阻，单片机通过程序模拟I²C的动作，通过P1.6、P1.7读写PCF8563。C13是时钟电路的振荡电容，通过它可以微调振荡频率。JP2是用于校正的跳线块，调校时接通，配合程序使PCF8563的引脚连接10kΩ上拉电阻R9，通过编程使该引脚输出32768Hz的振荡频率，以便外接频率计调校快慢。IC4是测温芯片DS18B20，读写是通过单片机的P1.5引脚控制。电源使用的是5V/2A的开关型墙插电源，适用交流电压范围宽，发热低，也省掉了稳压集成电路，只要加一个滤波电

本文介绍的电子时钟的特点：

1. *使用廉价的单片机STC90C52RC；*
2. *时间源使用性能好、价格低、接线简单的RTC集成电路PCF8563；*
3. *LCD1602字符液晶显示；*
4. *DS18B20温度传感器带4位温度显示；*
5. *与简单的上位机程序配合，通过电脑校正时间；*
6. *可以精准校正时间源的频率，误差很小。*

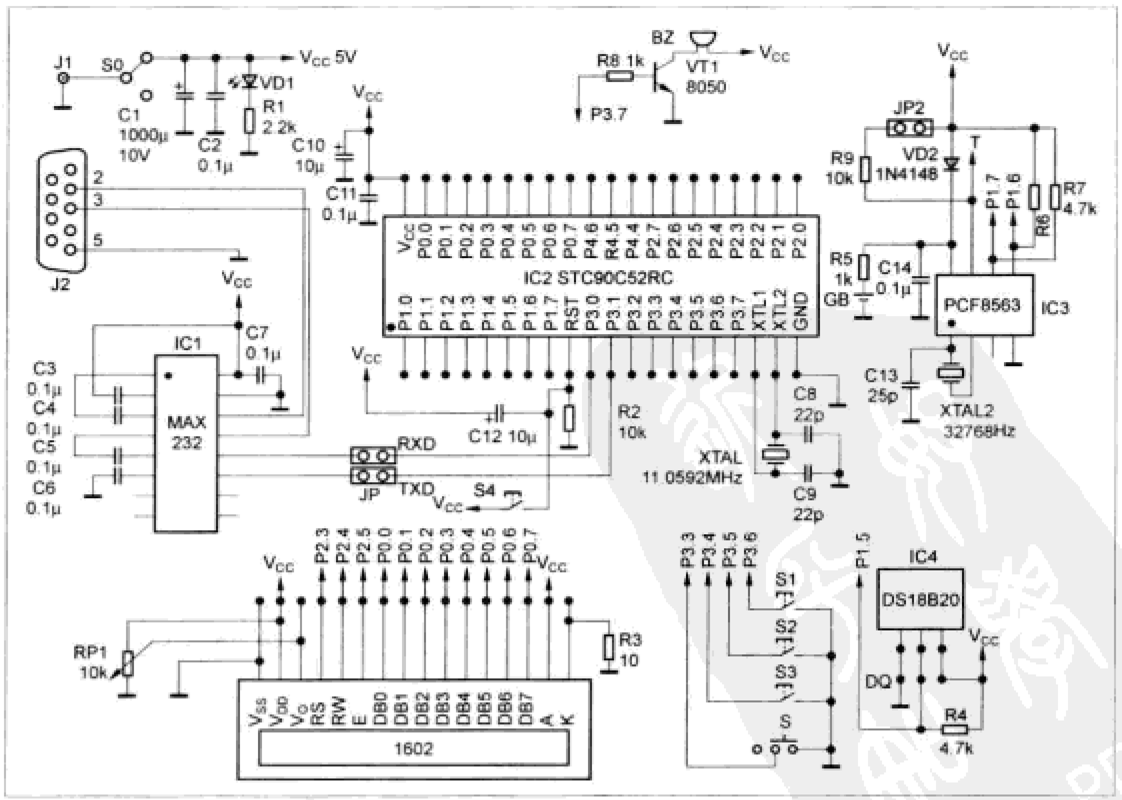


图1 电路原理图

电路材料和元件

带电源座、串口座和USB插座预留孔的万用板1块，尺寸10cm×10cm；
LCD1602字符液晶模块1个,黄绿或蓝白不限；
STC90C52RC单片机1个，配40针插座；
MAX232集成电路1个，配16针插座；
PCF8563集成电路1个，配8针插座；
11.0592MHz晶体和32768Hz晶体各1个；
直脚排针座1条，用来连接液晶模块；
40线直排针1条，用于给液晶模块焊引脚以及跳线等；
5mm孔径同轴电源插座1个；
小型自锁开关1个，用作电源开关；
微型轻触按钮4个，用作时间调校以及单片机人工复位；
小型拨动开关1个，用于设定闹钟；
9孔D型插座1个；
5V/2A墙插式开关电源1个。
其他阻容元器件按照电路图中的要求购买，引脚元件或贴片元件均可以使用。

容C1和一个旁路电容C2即可。RP1可用于液晶显示屏的对比度调节。液晶1602的数据线有8线和4线两种接法，前者要多接4根线，但程序稍微简单，速度也快一点，后者虽然接线简单，但编程比较复杂。本制作使用8线接法：液晶的数据线DB0~DB7对应接到MCU的P0.0~P0.7引脚，液晶的控制线RS、RW、E分别接到P2.3、P2.4、P2.5。控制按键S1、S2、S3互相配合用来人工校对时钟，S1用来改变校对项目，S2用来调整对应项目数据，S3用来确认新设定值。如果单独使用S3则是启动单片机的串口通信，准备接收来自计算机的时、分、秒数值，并用它设置PCF8563，使它和北京时间同步运行。开关S的作用是控制闹钟，它若断开，则闹钟功能有效，它若接地，则闹钟功能禁止，但设置的闹钟时间仍然有效。

安装制作

首先安装电源插座、串口插座，然后按照它们的位置定位安装电源和MAX232插座，再定位安装LCD插座、单片机插座和PCF8563插座。最后安装每个插座周边的元件，焊接连线。尽管洞洞板接线比较自由，也要尽量做到安全、合理、方便、美观。焊好元器件的电路板背面如图2所示。实际接线也可按照自己的安排布局，就近选择，也可以修改现有原理图的引脚连接，但程序就得作相应修改，总的功能不会改变。本图使用的LCD1602液晶的数据线采用8线接法，其实4线接法也可以。不过改变接法后，液晶的驱动程序和初始化要作相应修改，我在程序中将两种方法都列了出来，可以根据需要开启其中一种，注释掉另一种程序。初学者注意：LCD1602使用4线接法时，多余的4个引脚不可作液晶的控制线，但可以用作程序控制的输出线。

全部接线完成后，仔细检查确认连接无误，就可以先不插芯片，输入5V电压，检查IC插座上的电压是否正常，如有问题就进行检查处理，直到正常为止。然后插上单片机和MAX232，接好串口电缆，编一个最简单的程序，使用STC的新版下载软件，尝试能否正常下载，直接用串口最好，如果电脑没有串口，可以使用USB转串口线，总之要确保程序可以正常下载。完工后的板子如图3所示。

编程要点

1. LCD1602的驱动程序

编写LCD1602的驱动程序时，需注意程序开始要包含一个intrins.h的头文件，在C编程时就可以使用_nop_( )空操作功能，以便得到1μs左右的延时。另外，现在生产销售的LCD1602比起前些年的产品有所改进，使用更加方便，例如以前液晶的初始化首先需要强制写入0X38共3次，每5ms1次，现在只需要1次甚至不写入也可以。

如果发现使用正确的驱动程序后液晶

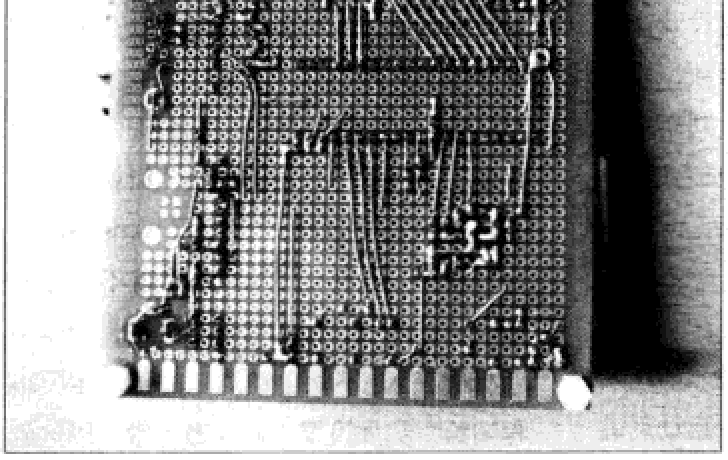


图2 PCB背面走线

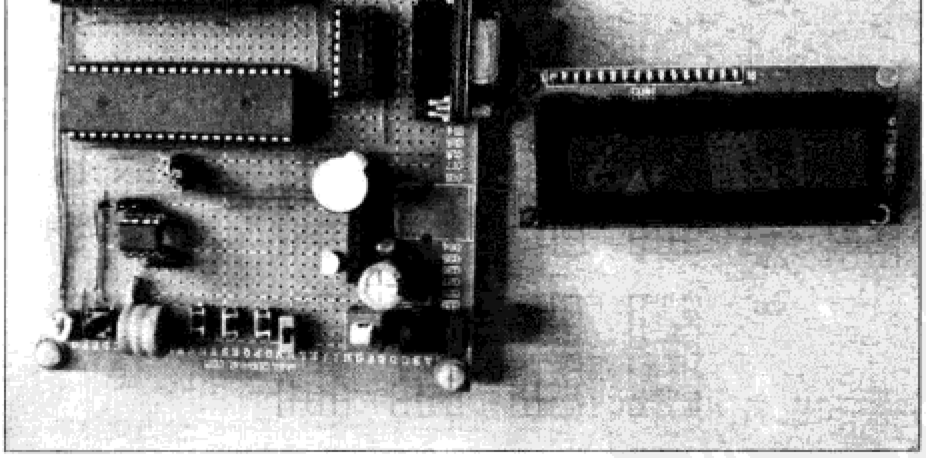


图3 元器件布局

屏还是不能显示，在排除了硬件接线问题后，着重检查以下3个方面：

（1）调节可调电阻 RP1，增大对比度；

（2）检查硬件连接是按照 4 线接法还是 8 线接法，与程序设计是否一致，不一致就不能显示；

（3）少数情况中，有些液晶模块的读忙指令会因无法读出而陷入死循环，可以把读忙改为“RS=0；RW=1；”，再延时20μs。

本文所附的驱动函数全部经过验证和改进，包括对于不能读忙的液晶模块也能正确显示。

LCD1602允许使用自己定义的8个符号，存放在具有8个字节的专用存储器GCRAM中。为了利用这个资源，程序中使用了自编的一、二、三、四、五、六、日以及表示摄氏度的符号“℃”（图示中四使用草书字体表示），如图4所示。

首先画出一个5×8点阵方格，在上边画出点阵字型，我们以“五”为例介绍，显示点为1，不显示点为0。从上到下，显示点可用8个十六进制编码表示，因为水平方向只有5位，故高3位以0补全，所以“五”的表示编码是：0X00，0X1E，0X08，0X1E，0X0A，0X0A，0X1F，0X00。依此类推，按照点阵图写出8个符号的十六进制编码，构成一个存放在ROM中的8行8列的二维数组。

设置GCRAM起始地址为0，开机后先把以上数组存入GCRAM中，以后用给LCD1602写数据的方法就可以把自编的符号显示出来了，具体操作见源程序。

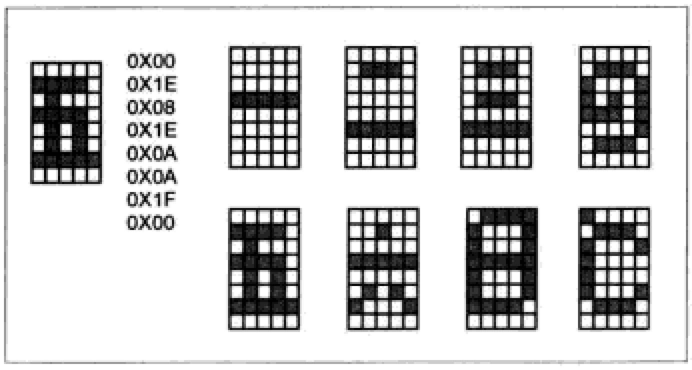


图4 自编的显示字符

2. PCF8563的驱动程序

PCF8563是一款使用I²C总线控制的实时时钟芯片，和常用的DS1302一样，也是8脚的小集成电路，接线简单，但通信方式就不一样了。读写完全按照I²C时序要求进行，它的写入地址是0XA2，读出地址是0XA3。它内部有16个寄存器，寄存器0和1号分别用来控制它的工作，寄存器2~15号用来读写具体时间、日期、闹钟及倒计数等。通过编程还可以引出时钟脉冲，加上它的时钟频率可通过振荡电容（C13）微调，这样就能够调整出比较准确的时间。它的驱动是以正确的预置1值写入以上寄存器，特别是对于新器件，必须把秒、分、时、日、月、年以及需要的报警时间等逐一写入寄存器0X02到0X0C，然后给寄存器0X00发出启动信号（第5位置0），它就开始工作了。因为有后备电池，停电也会继续走时。需要注意的是，在上述预置值寄存器中存入的是BCD码，关于它的具体编程，请参照源程序。

3. DS18B20的程序部分

DS18B20是单线总线器件，它以脉冲宽度判断0和1，因此对延时时间要求比较严格，不可随意增减。对它的编程就是根据它的控制指令，写出51的模拟时序，然后执行必要的操作。具体的驱动已在源程序中列出。启动温度转换到读出温度数值是需要时间的，对于12位分辨率的转换时间达750ms，因此需要设计在启动转换后1s再进行读数，读出的数值除了进行正负判断外，还要乘以分辨率系数0.0625，得到10进制的显示值。

总体编程

总体编程还是按照前、后台方式进行。后台在启动后进入一系列初始化，然后进入主循环。主循环就是以查询方式了解S1、S2、S3和S的状态以及是否从串口接收到数据，如发现有按键按下，进行简单延时消抖就进入按键处理。如果已经从串口接收到时间数据，就把这些数据转换为BCD码存入PCF8563寄存器，实现和电脑的时间数据同步。

按键S3的处理中包括3种情况。

1. 在S1按动（次数不限）后按动S3，不改变PCF8563寄存器；

2. 在S1、S2按动后按动S3，这时需要把S2设定出的新值写入PCF8563，实现人工设置，主要用于年、月、日和闹钟时间等数值的设置；

3. S1、S2未按动直接按下S3，这时启动单片机的串口中断，准备接收来自计算机的时间数据。

前台程序包括串口接收中断和T2定时器中断。单片机的串口中断用来接收电脑发送过来的时间数据，格式是“hh:mm’ss”，hh、mm、ss分别是时、分、秒的十位和个位字符码，连同冒号和引号一共有8个字节，每接收1个字节就触发1次接收中断，把收到的数据存入接收数组receiv[8]中，收到8个字节就置位接收完毕标志，等待主循环去查询此标志，然后处理。这就是串口中断的任务。

T2是单片机的一个16位定时器，它具备自动重载功能。使用它的中断处理执行两个任务：一是如果S1不按下，就定时刷新液晶1602的显示，S1按下说明在调校时间，这时不按时钟刷新而按设定值刷新液晶屏，以免显示混乱。二是设定时间测温，按照每5s一次向DS18B20发出测温请求，在接下来的1s回收测温数据并加以处理。为此，主程序初始化时就设定T2工作于自动重载模式，按照40ms中断一次，设定TH2和TL2。中断时就不必管它设置值的加载了，由它自己处理，但是中断标志TF2是不能自动清除的，一定要编程清除。另外设置中断次数计数，以达到计秒的目的。

调试校准

1. PCF8563的校准

前面说过，可以通过修正振荡电容的方法使得PCF8563达到准确的时钟振荡频率。在理想情况下，石英晶体振荡器以32768.0Hz的频率振荡，经过内部电路进行15次2分频就得到1Hz，也就是秒信号。实际上，如果振荡频率有少许误差，分频结果不是准确的1Hz，走时就不准确。这时我们可以通过调整振荡电容来微调振荡频率，电容减小则振荡频率升高。把频率调整到32768.0Hz，这样时钟就比较准确了。由于计时是个累积的过程，32768.0Hz石英晶体可能会有误差而导致时钟频率不准，但是要发现明显的偏差（例如几秒钟）还是需要较长时间的，因此最方便的办法是利用频率计校准时钟频率。PCF8563可以通过写入寄存器0X0D来引出或不引振荡频率：把它的最高位FE设置为1，就可在PCF8563的7脚（CLOCKOUT）引出时钟频率，把它的低2位FD1和FD0分别设置为00、01、10和11就可以选择引出的频率是32768Hz、1024Hz、32Hz或1Hz，它们都设置为0就输出32768Hz。不过该引脚是开漏输出，为了用仪器测量频率，应在电路原理图中加入10kΩ的上拉电阻R9。具体方法是：通过手工设置使得PCF8563走起来，特别对于第一次工作，要全面设置一遍。先取振荡电容为较小数值(例如22pF)，然后将频率计接好电源，开机预热稳定后，选低频挡，闸门时间取10s，把测试夹分别夹在地线和PCF8563的7脚（有外引插针）上，如图5所示。经过一段时间的稳定（10min以上），看频率计显示。实测结果为32.7684kHz，时钟频率高了。取下测试夹，单片机断电，并联一个5.6pF电容，测试结果为32.7681kHz，虽有所降低，但还是高一点。再断电，更换为8.2pF，稳定后测试结果为32.7680kHz，如果能在半小时以上保持稳定，时钟频率就调好了，如图6所示。经过这样调校的PCF8563，日误差可以做到1秒以内，按照规格书，达到一年正负5min的偏差没有问题。但是在没有频率计的条件下，只好用比对标准时间的办法来调整了，这样很浪费时间。

2. 与电脑同步校准

如果是人工设置PCF8563，要把它调节到与北京时间一致，这是有点难度的。电脑上的时间借助于互联网实时更新，还是很准确的。既然有串口可以从电脑下载程序，那正好利用它从电脑取得时、分、秒等时间数据来设置单片机的PCF8563，岂不方便多了？按照单片机的串口方式1，使用9600波特传输率，从电脑接收8个字节的数据仅仅80位，不到10ms就可传送完毕，因此是可行的。为此，我们可通过现成的“标准时间校准器”小软件（可到网上下载）先把电脑时间校正到标准时间，然后通过自编的小程序RTC-DOWN把当前电脑时间从串口发送到单片机就可以了。该程序的运行界面如图7所示，上面有两个文本框，分别显示电脑当前的时、分、秒和日、月、年，有两个按钮，EXIT是退出，SET是设置。使用前先不按S1和S2，只按下S3，液晶上左角显示R，如图8所示。说明已经打开了串口接收，鼠标点击SET，电脑时间就下载到PCF8563寄存器中，R消失、单片机时间和电脑时间同步完成（当然还是有差值的，但比手动调节方便许多）。

手动设置方法很简单，就是按S1选测试项目：月-日-年-闹时-闹分-星期几-时-分-秒，在对应位置以闪动光标提示。对应每一个项目用S2设置数值，然后按S3闪动光标消失，设置值写入PCF8563，并以新值走时。如不需设置就继续按S1往前走，直到秒设置以后闪动光标消失，显示走时就行了，否则继续按S1重选项目。

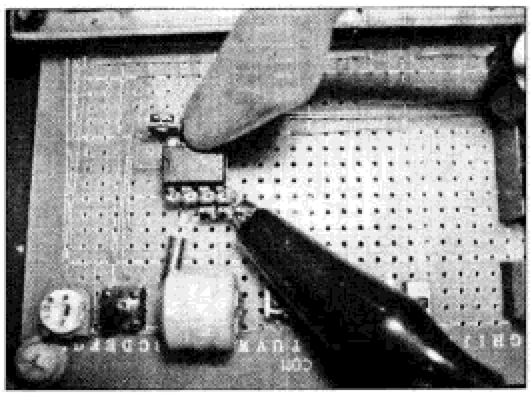


图5 测试PCF8563的7脚输出频率

图6 频率计的测试结果

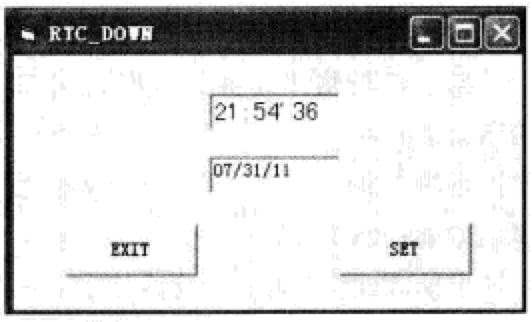


图7 程序界面

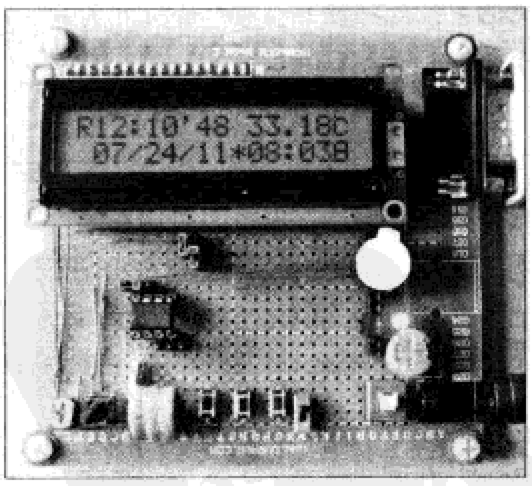


图8 时间设置

■ 本文中提到的自编的小程序RTC_DOWN.exe和源代码到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

防追尾！DIY简易跟随小车

◎蒋瑞挺

在《无线电》杂志2011年第6期中，本人发表了一篇关于制作超声波避障小车的文章。根据超声波测距的原理，还可以使该小车具有物体跟随的功能，严防发生追尾事件。目前物体跟随的实现大多是基于视频分析的原理，这种方法技术难度大、成本高。但使用超声波，就能够实现简单的物体跟随功能，即对前方的障碍物，能够以一定距离跟随运动。

物体跟随原理

使用超声波可以测量前方障碍物与小车的距离，如果要跟随前方物体前进随动，则需要小车根据目前的距离做相应的前进或者后退，见图1。

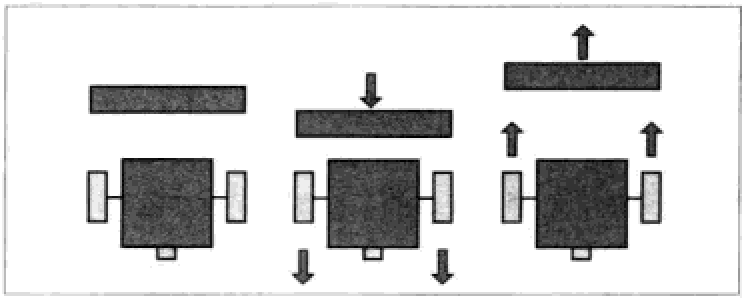


图1 物体跟随原理

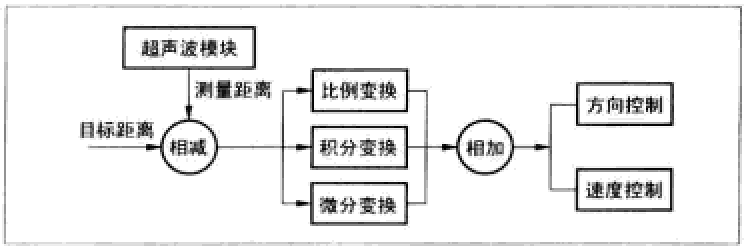


图2 PID控制原理

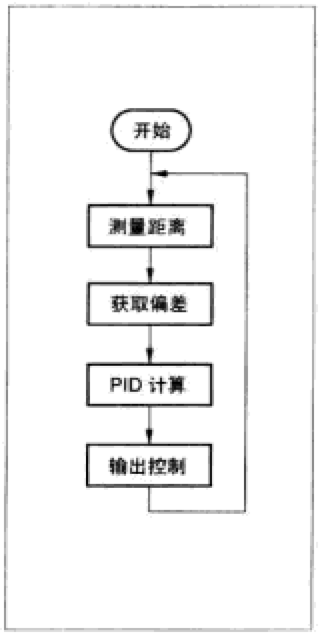


图4 程序流程图

当小车与物体距离过近时，需要小车立即后退，拉开距离。当与物体距离过远时，需要小车立即前进，缩短距离。如果我们仅根据距离偏差，以固定的速度前进或者后退，很容易让小车处于超调状态，使得小车不停地来回运动。为此需要引入PID控制方法，根据距离偏差，动态调节小车的速度及方向，实现稳定的物体跟随。

PID控制的原理见图2，当超声波模块测得与物体的当前距离后，与目标距离相减获得距离偏差。再将距离偏差通过比例、积分及微分变换后，将这些控制量相加作为最终的控制参数。根据控制参数的正、负进行方向控制，根据控制参数的值进行速度控制。

硬件设计

本文所述小车的硬件设计与本刊第6期的文章《简易超声波避障小车的制作》完全相同，这里不再重述。由于小车的重心比较靠前，在突然变向时，很容易向前倾倒，因此将电池的安装位置做了变换，放到车身后面，以平衡小车的重心，最终的小车实物见图3。

程序设计

程序采用C语言编程，以模块化方式设计，主要包含主程序、距离测量子程序、PID控制子程序、电机控制子程序等模块。其总体的程序流程见图4。

距离测量及偏差计算

外部控制器在TRIG引脚上加载至少10μs的低电平信号，然后加载高电平信号，此时开始测量。模块会自动发送8个40kHz的方波，自动检测是否有信号返回。当有信号返回时，模块会自动加载低电平信号到ECHO引脚上。从加载TRIG引脚高电平信号开始到ECHO引脚输出低电平信号间隔的时间，就是超声波从发射到返回的时间。当前方没有测量物或测量物距离超过模块最大测量距离1500mm时，ECHO引脚电平将不会发生变化。此时需要外部控制器自身做超时判断，超时时间一般为10ms。

在获得间隔时间后，根据测距公式即可算出距离：

$L=C\times T$

公式中，L为测量的距离长度，C为超声波在空气中的传播速度，T为测量距离传播的时间差（T为发射到接收时间数值的一半）。已知室温下超声波的传播速度C=344m/s。将计算得到的距离与跟随距离相减即可得到偏差。

这里需要注意的是，如果每次偏差都做PID控制，则小车会一直处于振荡的状态。因此，程序需要设置一个容许偏差，在容许偏差内，不做PID控制，小车停止运动；超过偏差，进行PID控制，小车进行跟随运动。

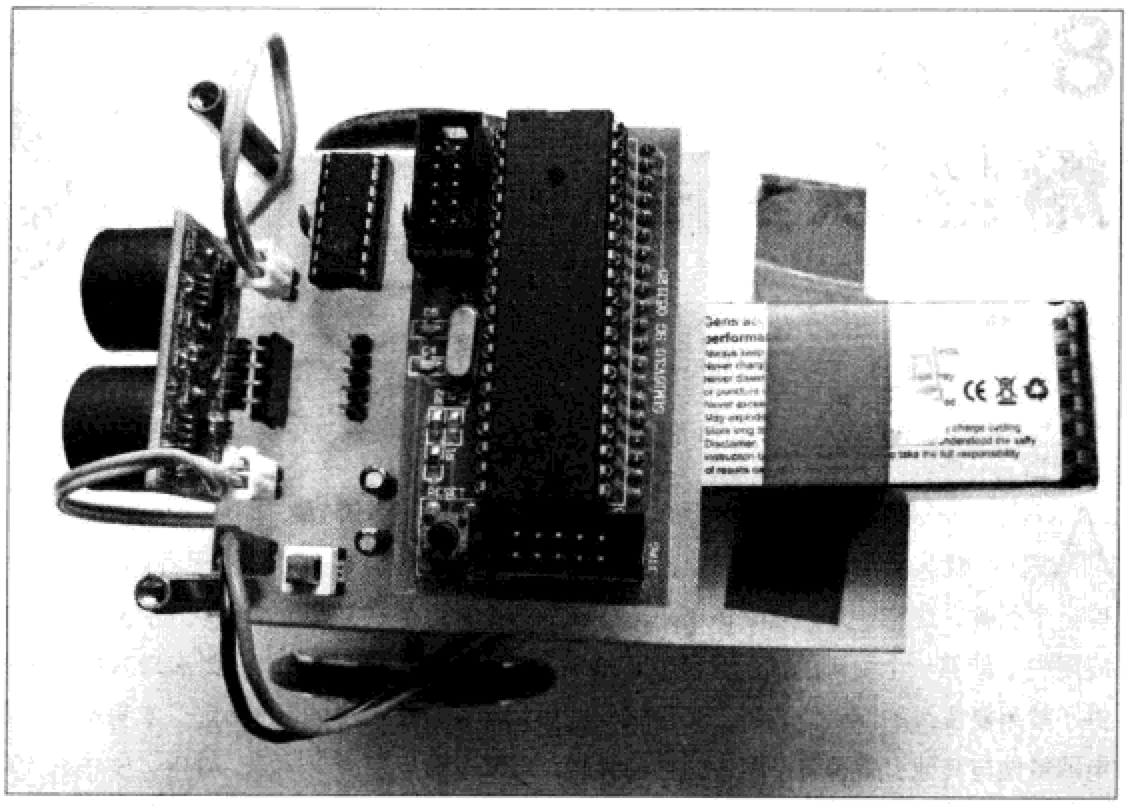


图3 小车实物图

PID计算及参数整定

在数字PID中，积分变换可以处理成对偏差的累积和，微分变换则可以处理成当前偏差与前一次偏差的差值。设PID参数分别为K_p、K_i、K_d，当前的偏差值为$e(n)$，则输出控制量$u(n)$的计算公式可简化为：

$$u(n)=K_p\times e(n)+K_i\times\sum_{i=0}^{n}e(i)+K_d\times(e(n)-e(n-1))$$

PID实现代码相对简单，但是3个参数的选定却是比较困难的。目前对PID参数一般有模型分析及工程经验整定两种方式。模型分析需要建立被控对象的数学模型，对于模型已经确定的场合比较有用。但是大部分的工程模型都是非线性的，很难建立其精确的数学模型，此时就需要依靠工程经验来整定。

首先整定比例部分，将比例参数由小变大，并观察相应的系统响应，直至得到反应快、超调小的响应曲线。如果系统没有静差或静差已经小到允许范围内，并且对响应曲线已经满意，则只需要比例调节器即可。

如果在比例调节的基础上，系统的静差不能满足设计要求，则必须加入积分环节。在整定时先将积分参数设定到一个比较大的值，然后将已经调节好的比例参数略微缩小，减小积分参数，使得系统在保持良好动态性能的情况下，静差得到消除。在此过程中，可根据系统响应曲线的好坏，反复改变比例参数和积分参数，以期得到满意的控制过程和整定参数。

如果在上述调整过程中，对系统的动态过程反复调整仍不能得到满意的结果，则可以加入微分环节。首先把微分参数设置为0，在上述基础上逐渐增加微分参数，同时相应地改变比例参数和积分参数，逐步尝试，直至得到满意的调节效果。

小车控制

小车采用恒定的PWM占空比来实现固定速度前进与后退。程序中使用ATmega16的16位定时器模拟实现两路8位PWM输出，同时控制左右轮两个电机速度。小车方向只有前进与后退两种方式，通过控制电机转向即可实现。

总结

本文设计的小车能实现对物体跟随的基本功能，但是基于超声波测距以及小车本身的局限性，还存在着以下一些问题：

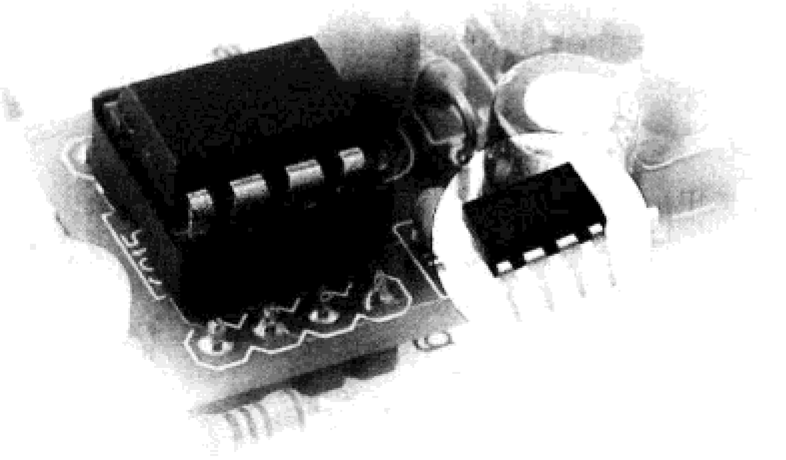
1. 无法识别具体跟随的物体，因此不能对特定物体进行跟随。目前对于小车而言，只要障碍物进入特定距离范围内，即对其进行跟随。

2. 只能在小车前进方向上对物体进行跟随，一旦物体脱离方向，就会跟丢物体。这是由超声波测距的方向性决定的，可以安装多个超声波模块，对其进行改善。

3. 小车由于没有速度反馈，使得它无法笔直地行进，往往会导致跟随物体一段时间后，自身偏离运动轨迹。这个问题可以通过安装光电编码器，实现对左右轮的速度反馈来解决。

■ 文章相关源程序及视频演示请到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

8引脚AVR芯片熔丝恢复器

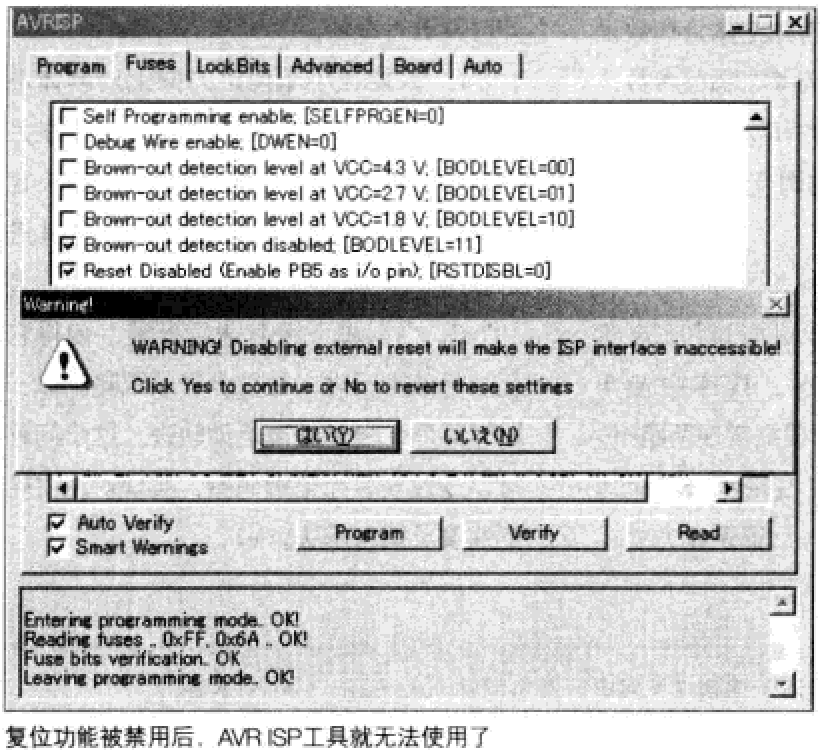


◎孙德庆

AVR的小封装单片机，比如ATtiny13、ATtiny45，是8引脚封装。在默认情况下，电源需要占用两个引脚，复位线需要占掉一个引脚。这样一来，可用的I/O口便只剩下5个。可是在某些应用中，就差一个引脚的情况会使我们非常头痛。幸好，AVR提供了禁用复位线的熔丝位选项。禁用熔丝位后，尽管复位引脚的电器特性与其他引脚稍有不同，但是解燃眉之急倒也够用了。

可是，AVR的在线下载方式需要用到复位线。一旦复位功能被禁用。这片芯片就无法再进入在线下载模式。这样一来，一般的AVR ISP等工具都无法使用了，只有使用并行编程器或者是AVR DRAGON一类的工具才能对其重新编程。否则，我们的AVR就变成了OTP（一次性编程）单片机。

AVR有两种编程方式：一种是常用的在线编程。所有市面上的AVR都支持这种方式，绝大多数下载器亦使用此种方法编程，但前提条件是，AVR的复位不能被禁用、SPI不能被禁用、芯片必须有正常的时钟信号供应。第二种方式是高压编程，这种方式对芯片的状态没有任何要求，只要芯片没有损坏即可。



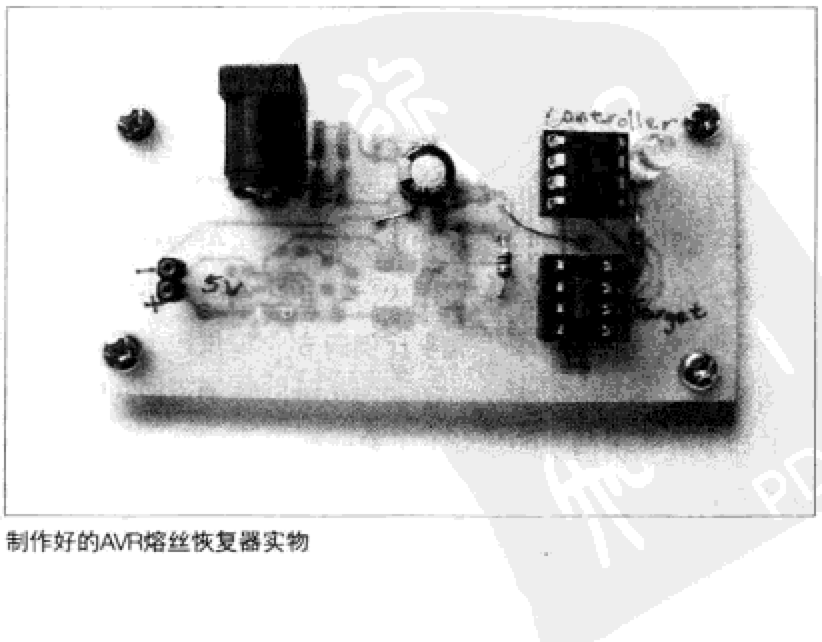
复位功能被禁用后，AVR ISP工具就无法使用了

AVR的高压编程分两种：高压并行编程（HVPP）和高压串行（HVSP）编程。绝大多数AVR芯片都使用高压并行编程。这种方法需要连接16根以上的线，很不方便，所以最好不要让大封装单片机进入需要高压编程的状态。但对于小封装单片机而言，本身引脚可能还不够16个，比如ATTiny13、ATTiny24/44、ATTiny25/45/85等单片机，而高压串行编程方式只需要4根数据线即可，因此可以考虑每次重编程使用高压串行方式进行。

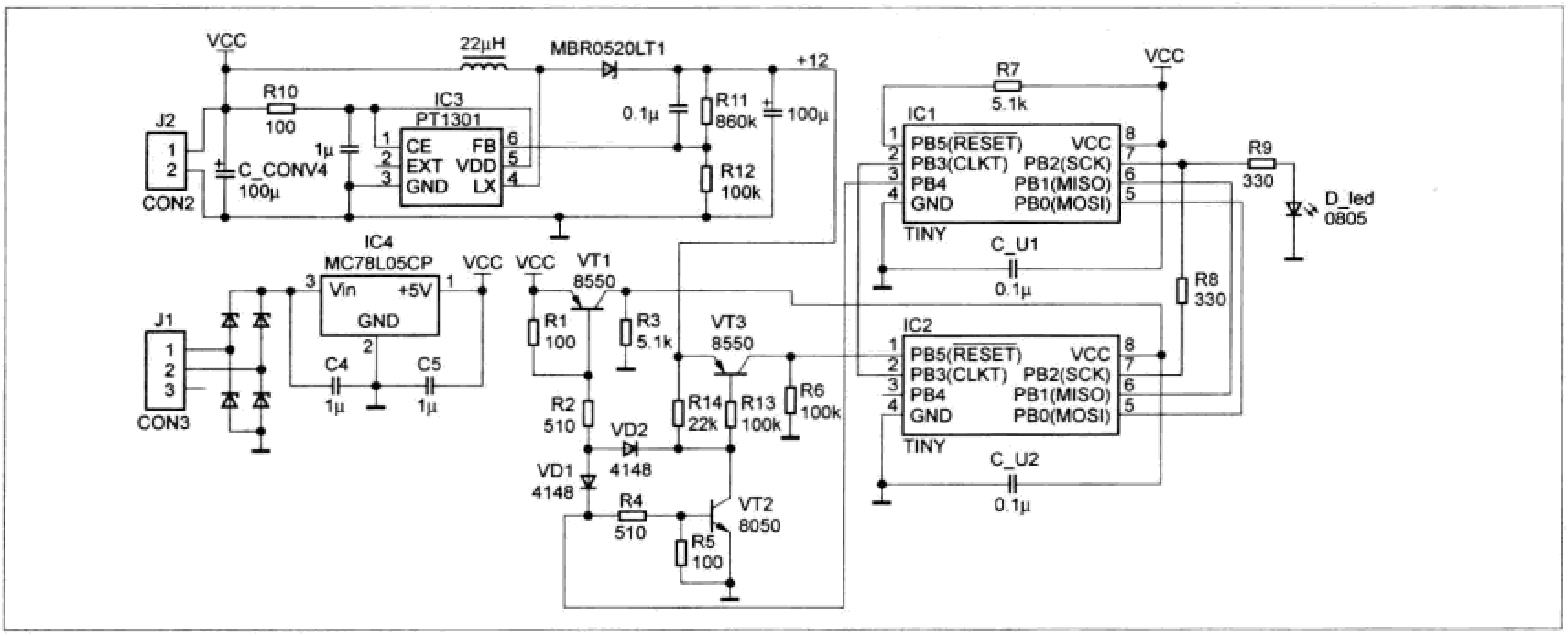
本文介绍的这块AVR芯片熔丝恢复器原设计来自“でんし研”，我在原设计的基础上更换了电源供应电路，并改进了电源控制电路。这块板使用一片价格便宜的ATtiny13作为主控芯片。用78L05将外电源整流至5V，再升压出一路12V供高压使用。ATtiny13控制5V与12V供给目标芯片，并发送指令将其熔丝位恢复为起始状态，最后用LED显示复位结果是否成功。

电路的升压部分使用PT1301。这片芯片广泛应用于平价应急电源。市面上用5V电池为手机充电的小玩意往往就会使用这款芯片。PT1301价格便宜，而且容易获得，但缺陷是效率不高，并且在不扩流的情况下输出能力也不强。不过，在这个应用里，这些缺陷都无关紧要。

需要注意的是，开关电源的电容不要使用铝电解电容，否则会因内阻过大使工作不正常。



制作好的AVR熔丝恢复器实物



电路原理图

电路主控部分的ATtiny13不禁用复位，因此，它只有5个I/O口可用。其中，PB3为目标单片机提供外部时钟，PB0~2为目标单片机提供指令，PB2在提供指令时钟的同时，控制外部LED显示最终操作状态，PB4负责控制为目标单片机提供高压和工作电压，它仅用一个I/O口，却输出3种状态：当它为高阻的情况下，5V和12V都断开。当它为低电平的时候，5V接通。当它为高电平时，5V与12V都接通。而这一切是用外部的三极管、二极管和电阻完成的。

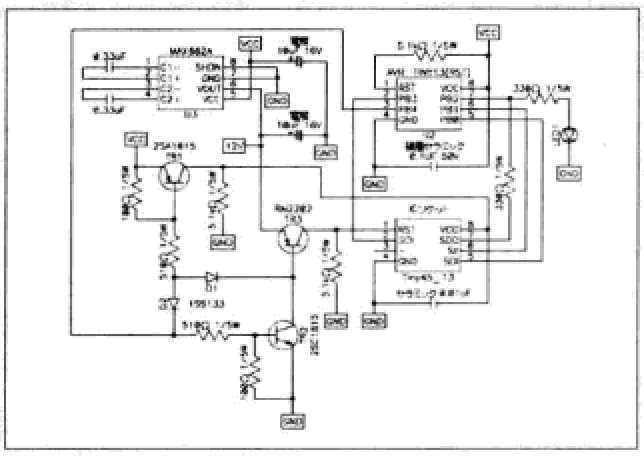
当PB4置为输入时，电源电压经由R1、R2、VD1、R4、R5分压。此时，VT1、VT2的V_{BE}均低于0.4V，所以两个三极管均截止，VT3亦截止。因此，两路供电均被切断，目标单片机不工作。当PB4输出低电平时，VT2的基极被拉低而导致截止。VT3因此截止，12V电源被切断。此时VT1的基极可以得到足够的分压，VT1导通，因而目标单片机被正常供电。

当PB4输出高电平时，VT2导通，导致VT2集电极电位被拉低。此时，VT1的集电极电流可以经由VD2流入VT2，再流入地，使VT1也同时导通。VT3的集电极电流也可通过VT2流入地，因此VT3也是导通的。此时，12V与5V电源都被接入，目标单片机进入高压编程模式。

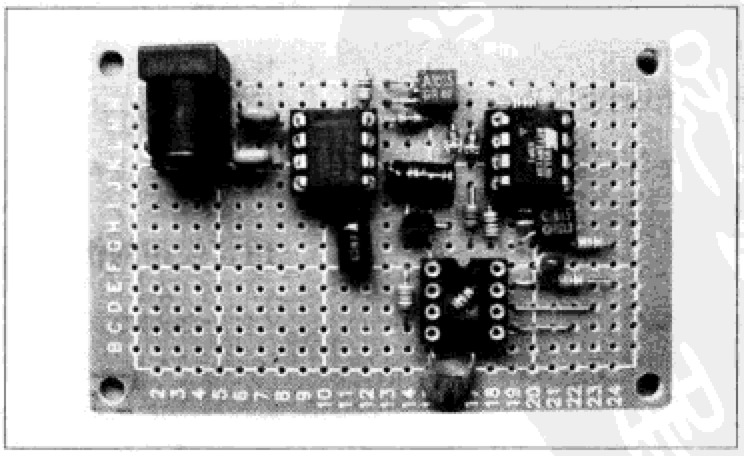
需要注意的是，即使在三极管的V_{BE}低于0.7V的情况下，集电极依然会有微小的电流流过。如果后级有三极管放大，或者是高阻负载，那么这个电流是不能忽略的。在这个应用里，如果不考虑这个问题，在PB4高阻的情况下，5V与12V都会导通。因此R3、R6、R14就在这种情况下释放掉这个小电流，避免错误的逻辑出现。

将ATtiny13烧录入程序，控制单片机将在上电1秒后检查目标单片机的标识字，并恢复它的熔丝位，如果正常结束，LED将闪动。之后，目标单片机就可以再次应用在线编程了。

参考资料来源：http://homepage2.nifty.com/denshiken/AVR004.html



原电路设计



在洞洞板上搭建起的原电路

Arduino-Lite
——高效轻量级AVR库

©RoboPeak

Arduino-Lite是由RoboPeak基于Arduino项目的固件库改良而来的轻量级高效率AVR固件库。RoboPeak保留了Arduino固件库简单易用的风格，同时有效地缩小了固件的代码尺寸。相比Arduino，Arduino-Lite拥有诸多优点，并且相当易于使用。开放版本的Arduino-Lite可以在google code（http://code.google.com/p/arduino-lite/）下载。

发布在google code上的Arduino-Lite包含如下部分：Arduino-Lite固件库源代码、WINAVR（avr-gcc）编译器、Arduino-Lite编译系统、工具程序、例子工程和工程模板文档。使用者仅需下载arduino-lite并配合操作系统带有的文本编辑器（notepad、vim）即可完成AVR程序编写、编译、烧录/下载，甚至调试的全部过程，无需安装任何额外的第三方库。当然，Arduino-Lite并不阻止你使用已有的软件/库。

支持的设备

Arduino-Lite除支持基于Atmega328/168的标准Arduino控制板外，任何第三方兼容版，任何满足下文列出的AVR芯片构成的电路均可支持。我们将在后续文章中介绍的免驱动USB接口的AVR/51 ISP编程器——RoboPeak USB Connector，也是采用Arduino-Lite作为固件库开发的。

为何要开发Arduino-Lite

Arduino-Lite与Arduino固件库一样使用C++/C编写且由avr-gcc编译器编译，但Arduino-Lite有如下优势：

1. 非常轻量级：使用Arduino-Lite固件库的固件往往比使用Arduino固件库的固件小50%以上。

2. 高效率： Arduino-Lite提供的许多与Arduino功能相同的函数，例如digitalWrite的Arduino-Lite版本——DIGITAL_WRITE，仅使用一条AVR指令实现。

3. 支持更多的AVR芯片和时钟频率：除Atmega8(A)、Atmega168(PA)、Atmega328(PA)、Atmega1280芯片外，Arduino-Lite也支持Attiny2313、Attiny26、Atmega48(PA)、Atmega88(PA)等芯片。对于时钟频率，Arduino-Lite支持1～20MHz的频率。

4. 自包含，无需依赖任何第三方工具/编译器/库：Arduino-Lite自带了avr-gcc(WINAVR)以及相关的函数库，只要系统中带有文本编辑器，即可直接用Arduino-Lite进行AVR固件开发、编译、烧录等操作。

5. 灵活、易于整合的编译环境，基于Make，但无需用户编写或是生成任何Makefile：创建一个新的Arduino-Lite工程，最简单的办法是将模板工程文件夹解压缩并重命名，然后将相关的源代码以任何目录结构放置于工程目录下。此后，Arduino-Lite就能编译项目，无需用户修改、编写、生成Makefile。

适合使用的情况和对象

RoboPeak认为Arduino-Lite适用于以下领域。

1. 对固件代码尺寸、器件成本敏感的场合，比如需要使用Attiny或者Atmega48等小ROM尺寸芯片的场合。

2. 对固件执行速度有较高要求的场合，比如对实时性要求较高的工控领域和机器人控制器领域。

3. 喜欢使用Make脚本、自定义IDE等的开发环境。

4. 有一定的编程经验，不满足于Arduino IDE环境，期望使用更高效的固件库的Arduino/AVR爱好者。

5. 希望将Arduino的简易开发特性运用于Attiny、Atmega48以及不同时钟条件下的硬件环境。

相比Ardunio固件库，Arduino-Lite或许不适合：

1. 不喜欢命令行界面、Make编译脚本的人群。

2. 希望直接使用Arduino各类第三方库，急需应用的情况。

对Arduino固件库优点的延续

Arduino项目所提供的固件库，凭借其易用性被广大爱好者所接受，例如可以使用digitalWrite( )、digitalRead( )、analogWrite( )函数轻松实现对AVR芯片IO口输出、输入的控制，这就大大降低了AVR单片机的使用门槛。使用者无需知道传统AVR编程中遇到的DDR、PIN等寄存器，甚至像PWM输出这类需要了解定时器工作模式的功能，即使是没有任何单片机开发背景的爱好者也能迅速用Arduino固件库上手。

例如，使用传统的avr-gcc（WINAVR）进行开发时，如果要利用PWM输出实现LED小灯的渐变点亮，开发人员至少需要编写如下代码：

```
//Set PWM mode: fast mode for timer 0
sbi(TCCR0A, WGM01);
sbi(TCCR0A, WGM00);
//set timer 0 prescale factor to 64
sbi(TCCR0B, CS01);
sbi(TCCR0B, CS00);
sbi(DDRB, PB1);
sbi(TCCR, COM11);
unsigned char led_brightness = 0;
for (led_brightness=0; led_brightness = 255; led_brightness++)
{
  OCR01 = led_brightness;
}
```

上述代码要求编写者事先记住AVR相关寄存器的名称以及使用方式，这无疑会加重开发难度，即使是有一定经验的开发人员，也可能忘记某个寄存器的具体使用方法。另外，AVR不同型号芯片上的寄存器名称以及使用（定义）方式也是大不相同的。而采用Arduino固件库，上述代码就可以用如下的简洁代码替代：

```
pinMode(9, OUTPUT);
unsigned char led_brightness = 0;

for (led_brightness=0; led_brightness = 255; led_brightness++)
{
  analogWrite(9, led_brightness);
}
```

Arduino固件库不但使得代码变得简洁易懂，同时也使固件代码实现了跨芯片编译。总体上说，我们认为Arduino固件库有如下优点值得学习：

1. 将常用操作封装为函数、类，无需用户配置具体的寄存器，实现了易用性和平台无关性。

2. 将AVR具体的IO引脚重新用数字编号，相比PB1、PC3这类名称，更有利于初学者接受，更重要的是，有利于程序逻辑脱离对具体芯片的依赖。同样的编号可以运用在AVR不同型号，甚至是非AVR单片机芯片中。

基于上述优点以及Arduino硬件设计的易用性，Arduino固件也逐渐被大家所接受。Arduino-Lite同样保留了上述优点。上述Arduino代码在使用Arduino-Lite时，可以写为：

```
PIN_MODE(9, OUTPUT);
unsigned char led_brightness = 0;

for (led_brightness=0; led_brightness = 255; led_brightness++)
{
  ANALOG_WRITE(9, led_brightness);
}
```

上述代码除了大小写变化外，与Arduino固件代码一致。大部分Arduino-Lite函数均以原先Arduino对应函数的大写形式出现，方便Arduino使用者迅速转移到Arduino-Lite。

Arduino固件库的不足

在提供上述优点的同时，我们发现Arduino也有不足之处。

1. 运行效率低

当使用digitalRead( )、digitalWrite( )、analogWrite( )等函数以及依赖它们的类、函数、库时，使用者往往会发现它们的运行效果不理想，这主要与这些函数的实现有关。因为Arduino引入了将IO引脚用数字编号的特性，在调用操作IO引脚的函数时，它们需要查表将对应的数字编号转化成对应的控制寄存器。以analogWrite()函数的实现为例：

```
void analogWrite(uint8_t pin, uint8_t val)
{
 pinMode(pin, OUTPUT);
 if (digitalPinToTimer(pin) == TIMER1A) {
  // connect pwm to pin on timer 1, channel A
  sbi(TCCR1A, COM1A1);
  // set pwm duty
  OCR1A = val;
 } else if (digitalPinToTimer(pin) == TIMER1B) {
  // connect pwm to pin on timer 1, channel B
  sbi(TCCR1A, COM1B1);
  // set pwm duty
  OCR1B = val;
 } else if (digitalPinToTimer(pin) == TIMER0A) {
  if (val == 0) {
   digitalWrite(pin, LOW);
  } else {
   // connect pwm to pin on timer 0, channel A
   sbi(TCCR0A, COM0A1);
   // set pwm duty
   OCR0A = val;
  }
 } else if (digitalPinToTimer(pin) == TIMER0B) {
  if (val == 0) {
   digitalWrite(pin, LOW);
  } else {
   // connect pwm to pin on timer 0, channel B
   sbi(TCCR0A, COM0B1);
   // set pwm duty
   OCR0B = val;
  }
 } else if (digitalPinToTimer(pin) == TIMER2A) {
  // connect pwm to pin on timer 2, channel A
  sbi(TCCR2A, COM2A1);
  // set pwm duty
  OCR2A = val;
 } else if (digitalPinToTimer(pin) == TIMER2B) {
  // connect pwm to pin on timer 2, channel B
  sbi(TCCR2A, COM2B1);
  // set pwm duty
  OCR2B = val;
 } else if (val < 128)
  digitalWrite(pin, LOW);
 else
  digitalWrite(pin, HIGH);
}
```

代码是比较长的，相比之下，直接操作寄存器完成analogWrite同等功能，只需要如下简短的代码：

```
OCR01 = led_brightness;
```

如此的差距体现在执行时，就是10倍以上的指令集消耗和效率的减缓。这使得Arduino固件库难以直接应用于对运行效率较高的产品和专业领域。

2. 产生的固件代码尺寸大

同样，因为Arduino固件库函数多包含大量查表代码以及需要带有引脚映射表，使得基于Arduino固件库的固件代码尺寸较大。例如之前给出的LED渐变点亮的例子，使用Arduino的固件代码在将近2KB左右。对于Atmega48/Attiny这类单片机，2KB的固件已经消耗了一半甚至所有的程

序空间。

如此大的体积消耗在价格敏感的产品领域是难以接受的，即使是爱好者使用，较大的固件尺寸也限制了所开发程序的功能。

3. 支持的AVR芯片有限，且对外围硬件有所要求

目前的Arduino固件库仅支持Atmega8、Atmega168、Atmega328、Atmega1280等芯片，同时需要使用频率为8MHz或者16MHz的外部石英振荡器。然而，在产品和业余制作中，可能会用到Atiny系列、Atmega48、Atmega88这类程序控件较少，但成本更低廉的AVR型号，同时，具体应用中也会使用8MHz、16MHz之外的时钟。对于这些情况，Arduino库就无法使用了。

Arduino-Lite对Arduino的改良

Arduino-Lite延续了Arduino固件库易用的特性，Arduino所使用的IO引脚编号方式仍然可以在Arduino-Lite中使用，几乎所有的Arduino核心函数(如digitalRead、digitalWrite、analogWrite)都有对应的Arduino-lite函数/宏。在实现相同功能的情况下，Arduino-lite的代码更加精简和高效。实现这一点的主要方式是采用宏展开，将Arduino固件库进行的IO数字编号到寄存器的转化任务在编译阶段完成。省去了查表操作后，固件的体积和运算速度均会显著提高。

这里我们仍旧以PWM输出为例，analogWrite(pin, value)在Arduino-lite中对应的是ANALOG_WRITE(pin, value)。例如给9号Arduino Pin口 (PB1)输出PWM信号，可以写为：

```
ANALOG_WRITE(9, pwm_value);
```

这虽然形式上和用法上与Arduino固件库一致，但是Arduino-Lite会将ANALOG_WRITE进行宏展开：

```
#define ANALOG_WRITE( pin, val ) \
  do{                      \
     PWM_ENABLE(pin);       \
     PWM_SET(pin,val);      \
  }                        \
  while(0)
```

而PWM_ENABLE和PWM_SET宏最终会展开为：

```
sbi(TCCR1A, COM1A1);
OCR1A = pwm_value;
```

相比Arduino的长长语句，Arduino-Lite仅产生2条AVR指令即可完成完全相同的任务。并且，Arduino-Lite也提供了更加精简的接口，如PWM_SET(pin, value)完成PWM输出的控制，使用这类接口时，Arduino-Lite仅产生一条AVR指令。

我们可以用产生固件的尺寸做个直观对比。实现LED渐亮效果（PWM），Arduino库产生的最终代码有2048字节，而Arduino-Lite产生的最终代码只有100字节。

另外，在Arduino固件库中，ADC引脚(PC)均只能供analogRead使用，无法用作传统的IO口。而在Arduino-Lite中，我们扩充了Arduino的引脚编号，将这些ADC引脚也纳入了普通IO控制范围，供开发者调用DIGITAL_READ/WRITE操作。以下是AtemgaX8(m48、m88、m168、m328)的Arduino-Lite引脚定义：

```
// ATMEL ATMEGA8 & 168
//
//              +-V-+
//          PC6  1|   |28  PC5 (AI 5/*D19)
//    (D 0) PD0  2|   |27  PC4 (AI 4/*D18)
//    (D 1) PD1  3|   |26  PC3 (AI 3/*D17)
//    (D 2) PD2  4|   |25  PC2 (AI 2/*D16)
// PWM+ (D 3) PD3  5|   |24  PC1 (AI 1/*D15)
//    (D 4) PD4  6|   |23  PC0 (AI 0/*D14)
//          VCC  7|   |22  GND
//          GND  8|   |21  AREF
//    *(D20) PB6  9|   |20  AVCC
//    *(D21) PB7 10|   |19  PB5 (D 13)
// PWM+ (D 5) PD5 11|   |18  PB4 (D 12)
// PWM+ (D 6) PD6 12|   |17  PB3 (D 11) PWM
//    (D 7) PD7 13|   |16  PB2 (D 10) PWM
//    (D 8 )PB0 14|   |15  PB1 (D 9) PWM
//              +----+
```

下载并配置Arduino-Lite

1. 获取Arduino-Lite

在google code（http://code.google.com/p/arduino-lite/）的Download区域有已经打包过的Arduino-Lite，比如arduino-lite-r0.1.zip。在下载完毕后，将它解压缩至任何路径即可，无需安装过程。

在google code的Source区域可以用匿名方式签出(check out) Arduino-Lite的最新版本或者历史上的任意版本。在签出后可以直接使用本地工作目录，无需安装过程。

在下载Arduino-Lite并解压缩后，应该看到如图1所示的目录结构。

图1

其中，src文件夹包含了Arduino-Lite固件库的所有代码，sketch文件夹用于存放用户工程文件，工程模板与例子工程也存在于此，scripts文件夹用于存放编译环境相关的脚本，bin文件夹用于存放相关工具程序以及avr-gcc。

2. 环境要求

虽然Arduino-Lite源代码对当前开发环境（操作系统、机器配置）不存在任何要求，但目前我们的编译环境仅在Windows上使用，你可以稍作修改，使得它在Linux、Mac OS上工作。

3. 初次使用的配置

当首次在计算机上使用该运行库时，执行位于Arduino-Lite根目录下的buildenv.cmd文件。它将负责配置Arduino-Lite所依赖的工作环境：配置Bash环境（基于msys）、展开WINAVR（avr-gcc）目录树、配置环境变量（如果需要）。你应该会看到如图2所示的命令行窗口。当该脚本执行完后，Arduino-Lite就可以使用了。

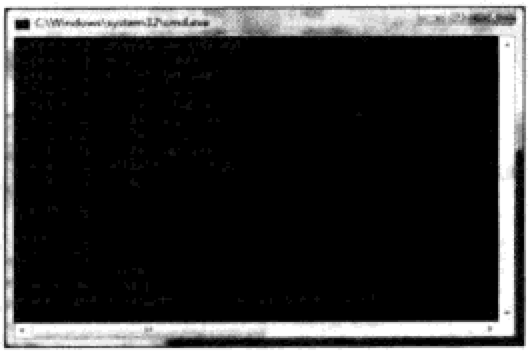


图2

使用Arduino-Lite进行开发

1. 创建一个Arduino-Lite工程

Arduino-Lite自身的编译系统采用简单易用的设计哲学创建新的工程，无需借助第三方工具，也无需编写Makefile脚本（必要的修改还是需要的），即可迅速创建出可以直接进行AVR代码编译、下载/烧录的Arduino-Lite工程。当然，编写Makefile，使用AVRStudio、Eclipse等IDE构建，或者使用ArduinoIDE环境也都是可以的。

在Arduino-lite目录下的sketch目录用于存放使用Arduino-Lite编译系统的工程项目。下面以创建名为myAVR的AVR项目为例示范如何创建项目。

（1）解压缩位于 sketch 目录下的 template.zip 文件到 sketch 文件夹，得到如图 3 所示的目录结构（此时位于 sketch/template/ 文件夹下应该存在 launchsh.cmd 等文件）。template.zip 是 Arduino-Lite 工程的模板，其中包含了直接可以运行的编译脚本（Makefile）以及位于 src/main.cpp 的模板框架代码。Arduino-Lite 的编译系统使用 Make 脚本进行源代码编译，并使用 bash shell 环境进行操作。可以使用 launchsh.cmd 启动 bash shell 环境（参考后文）。

图3

（2）将解压缩的 template 文件夹重命名为你所希望的工程名称，例如这里的 myAVR。至此，一个新的 Arduino-Lite 工程创建完毕，它会负责编译出基于 Atmega168，工作在 16MHz 的 AVR 固件。从 template.zip 模板创建而来的工程包含了控制 11 引脚上的 LED 渐亮效果的例子程序。如果要修改产生的 AVR 固件的运行环境（芯片型号、时钟频率等），请参考后文。

2. 往工程中添加文件

可以直接在src文件夹下增加额外的代码文件（支持.cpp、.c、.S、.h、.hpp）和子目录。Arduino-Lite将自动编译src文件夹下的所有可识别源代码文件，无需修改Makefile脚本。例如图4所示的工程结构，Arduino-Lite可以自动编译整个代码树。

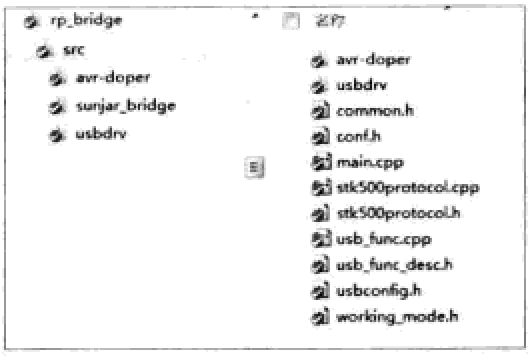


图4

3. 何时需要修改Makefile脚本?

以下情况需要修改Makefile脚本：

（1）固件的目标硬件环境与 Makefile 脚本默认的情况（用于 Atmega168 芯片，工作于 16MHz）不同。

（2）需要设置目标硬件的下载/烧录方式。Arduino-Lite 支持通过串口的 AVR bootloader 进行固件下载（Arduino 兼容），也支持通过 RP USB Connector 进行空白 AVR 芯片的烧录。如果需要配置 bootloader 串口波特率等情况，此时需要修改 Makefile。

（3）需要修改目标 AVR 芯片的熔丝配置。在使用 RP USB Connector 进行目标 AVR 烧录时，可以在 Makefile 中指定需要配置的熔丝位数据。

（4）需要自定义编译的文件、引用额外的代码库。如果不满于默认编译 src 下所有源代码的方式，或者希望引用 Arduino-Lite 固件库之外的库文件，此时需要修改 Makefile 脚本。

Makefile脚本位于每个工程的根目录下，可能需要改动的部分均以“TODO:”标识注明，如图5所示是命令Makefile产生基于Atmega48，工作在1MHz的固件，并且将使用COM3串口利用芯片上的bootloader进行下载。

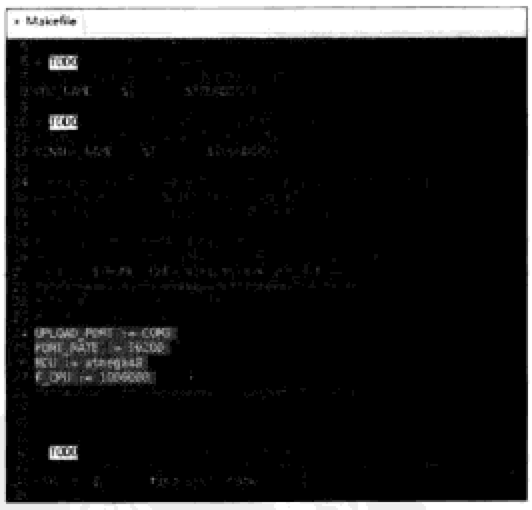


图5

4. 编译工程

Arduino-Lite使用标准的make命令进行项目的编译。为了执行make命令，可以执行位于工程根目录下的launchsh.cmd脚本，此时将启动bash shell。在提示符环境输入make，即可开始工程的编译，如

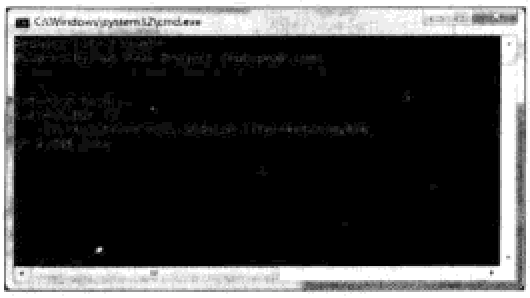


图6

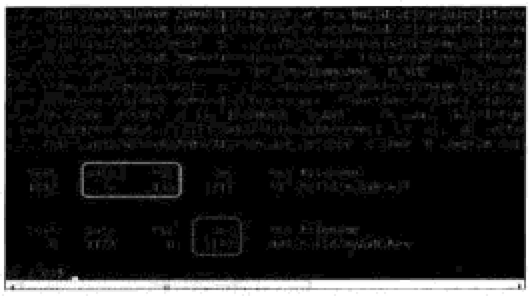


图7

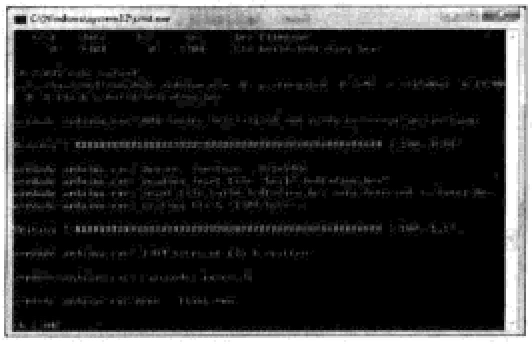


图8

图6所示。如果编译过程没有错误，最终将提示产生的固件的尺寸信息，如图7所示。图7中，下面的框中的数字代表了固件将消耗的AVR程序存储空间（Flash）大小（以字节为单位），可用于判断当前固件是否可以完整烧录/下载至目标芯片；而上面的框中的数字综合代表了程序所消耗的全局内存的下限，可用来评估目标芯片是否有足够内存保证该固件的正常运行。

5. 将代码下载/烧写到目标硬件设备

（1）给 Arduino 以及兼容版编程

可以使用make upload命令给具有支持STK500v1协议bootloader的AVR芯片编程。Arduino硬件以及兼容版大多带有上述bootloader，其他AVR硬件需要预先烧录该bootloader。该固件源代码和预编译版本可以在Arduino-Lite的src\bootloaders文件夹下找到。

将目标硬件接入PC，得到用于下载的串口号，默认为COM3。需要确认bootloader所使用的波特率，默认为19200。如果上述数值与默认值不同，请修改当前工程的Makefile脚本。在设备接入PC后，输入make upload命令即可开始烧录，烧录过程如图8所示。注意，对于非Arduino设备，你可能需要在下载开始前手工重启AVR芯片。

（2）给任意 AVR 芯片构成的电路系统编程

Arduino-Lite编译环境集成了对AVR-Doper（http://www.obdev.at/products/vusb/avrdoper.html）及其兼容下载器的支持，可以使用make burn命令通过ISP口给任意AVR芯片烧录程序、配置熔丝等操作。可用的编译参数见附表。

RoboPeak开发了兼容AVR-Doper协议的免驱动USB接口的AVR编程器——RoboPeak USB Connector，如图9所示。我们将在后续文章中公布它并介绍它的使用方式。Ⓦ

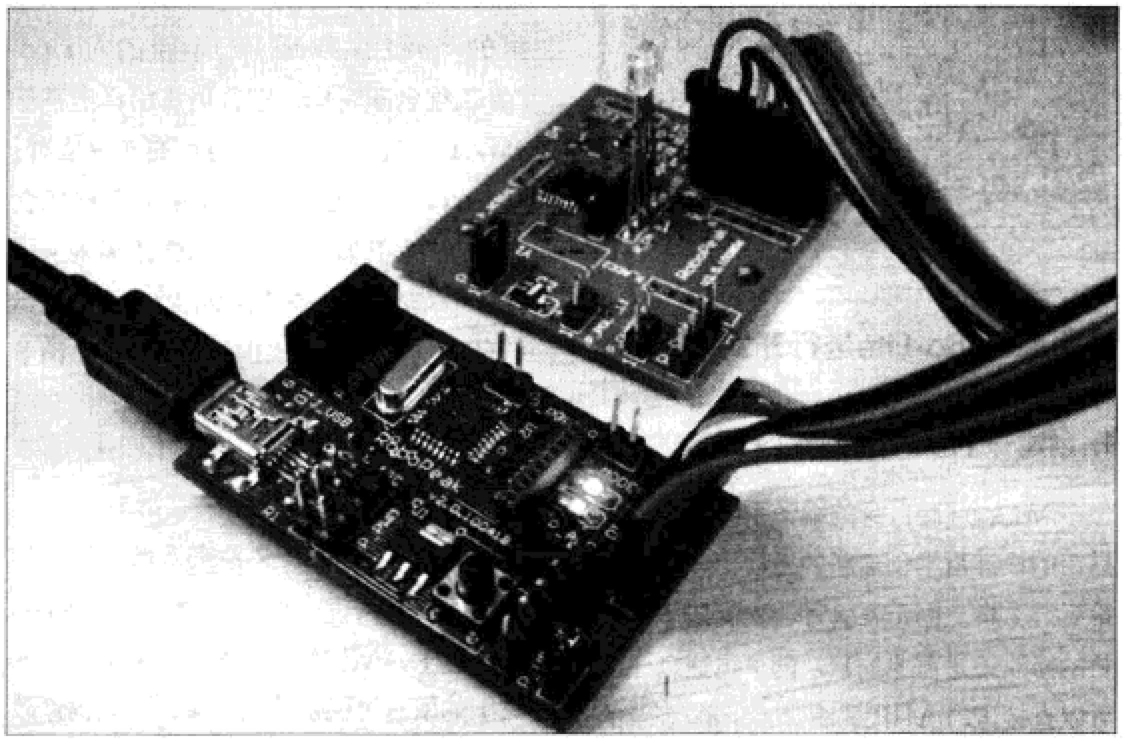


图9

附表　可用的编译参数

编译相关	make或者make all	编译当前工程
	make clean	清除上次编译的结果
芯片下载/编程	make upload	将HEX经过串口上传到目标AVR芯片内（通过STK500v2协议的bootloader）
	make usbupload	将HEX经过USB上传到目标AVR芯片内（通过HidBootloader）
	make burn	将HEX通过RoboPeak USB Connector编程器（或者Avr-doper兼容设备）烧写到目标AVR芯片
	make erase	通过RoboPeak USB Connector编程器（或者Avr-doper兼容设备）擦除目标AVR芯片中的数据
	make fuse	通过RoboPeak USB Connector编程器（或者Avr-doper兼容设备）给目标芯片配置熔丝位
	make lock	通过RoboPeak USB Connector编程器（或者Avr-doper兼容设备）给目标芯片配置Lock bit
代码分析和调试	make dump	将编译产生的.elf文件反汇编至AVR汇编代码
	make dumpobj	将编译产生的目标文件（*.o）反汇编至AVR汇编代码

制作8核微控制器Propeller开发板

◎刘毅男

大家或许都对自己家中的多核处理器电脑习以为常了，广大消费者体验到了多核处理器不同于以往单核处理器的高速处理能力与优良性能。但是在单片机微控制器的市场上，很长时间以来都没有出现多核的处理器，可以说Propeller芯片是开了多核单片机微控制器的先河，但其开发板不太容易寻觅，笔者决定自己制作。经过几次试验，Propeller开发板终于能够良好运转，我也切实亲身领略到了8核微控制器的独特魅力。

笔者非常喜欢电子制作，从上大学起，就对单片机及其外围电路设计情有独钟，由于在校学习的是测试与控制专业，课程中学习了很多电子方面的知识，也有很多机会接触到了各种类型的单片机。从简单的Atmel AT89S52，到STC系列、AVR系列、凌阳单片机，再到更为高级的ARM7、ARM9以及更为专业的DSP处理器，笔者都有所学习，也或多或少进行了应用，制作了一些小系统，从中学习了知识，收获了快乐。

一次偶然的机会，笔者从网上看到了一款新式的单片机，顿时感觉眼前一亮，有一种打破传统、焕然一新的感觉，笔者立刻就喜欢上了它，这就是由美国PARALLAX公司设计的Propeller芯片，在它小小的一个芯片体内，含有8个核，每一个核称作一个Cog，它们能够独立运行，可以并行处理。这大大不同于我们以往使用的单核单片机，在解决异步事件及多任务的精准处理上具有单核单片机无法比拟的先天优势。

由于这款单片机所具有的巨大吸引力，笔者迫不及待地想要得到一款它的开发板，但在网上苦苦搜寻数日，也未发现国内有人制作销售，其美国官方网站上的套件价格很高，并且在国内不易购买，最终笔者放弃了购买的念头。后来发现，这款芯片在国内还是有销售的，因此决定自己制作开发板，经过几次试验，笔者的Propeller开发板终于能够良好运转，也切切实实亲身领略到了8核微控制器的独特魅力。

笔者在国内的网站、杂志等媒体上发现这款芯片的介绍很少，应用的人也不多，因此先来介绍一下这款芯片，再来看笔者制作的开发板。

Propeller芯片简介

大家或许对自己家的多核处理器电脑习以为常了，例如我们非常熟知的Intel和AMD，它们的多核CPU产品这些年发展十

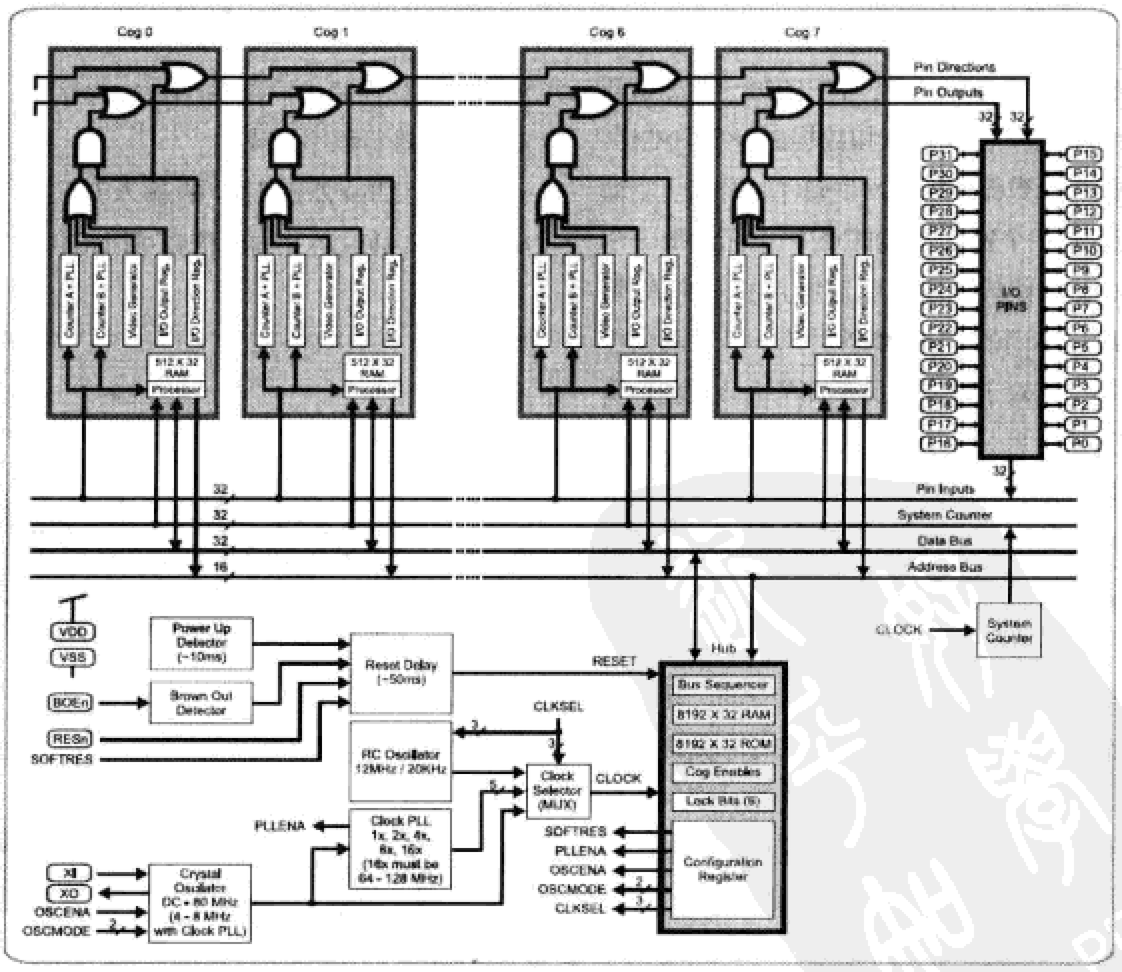


图1 Propeller芯片内部结构

分迅速，不断更新换代，使广大消费者体验到了多核处理器不同于以往单核处理器的高速处理能力与优良性能。但是在单片机微控制器的市场上，很长时间以来都没有出现多核的处理器，可以说Propeller芯片是开了多核单片机微控制器的先河。

20世纪90年代，PARALLAX公司的工程师就开始了Propeller芯片的构想与设计，经过多年研究，这一8核的单片机终于在2006年面世。Propeller芯片的面世，立刻吸引了广大单片机爱好者的关注，它的应用经过广大爱好者不断扩充丰富，制作的产品也涉猎各个领域，其中许多都让笔者感觉迫不及待想要拥有，但苦于这些作品几乎全都是外国爱好者的作品，要想直接得来实属不易，因此还是要自己研究、自己制作，也希望国内的单片机爱好者们多多开发自己的Propeller产品。说了这么多，还是赶紧来看看Propeller为什么会有如此大的魅力吧！

Propeller芯片内含8个32位处理单元，每一个处理单元称为一个Cog，它们通过总线可以访问芯片的共享资源，内部结构如图1所示。芯片中的每一个Cog都包括用于存储程序和数据的2KB RAM、两个计数器、视频发生硬件以及用于驱动外围32个独立I/O的I/O控制单元。每一个Cog都能够独立地驱动芯片的32个I/O管脚，不同的Cog也能够共享一个引脚的控制，这对于开发人员来说是十分便捷与灵活的。另一个便捷之处是，开发人员在程序开发过程中不必使用中断，如果程序中要使用中断，仅仅需要使用一个独立的核来操作就可以了。

2KB的存储空间看似小了一点，但是8个Cog总共有16KB的存储空间。除此之外，Propeller还含有可供每个Cog访问的32KB共享RAM，但每一单位时间只能允许一个Cog进行访问，由芯片内Hub来协调访问次序，Hub以系统时钟速度的一半进行“旋转”，这也就是说，每个Cog每16个系统时钟周期都能够访问一次共享RAM，如图2所示。

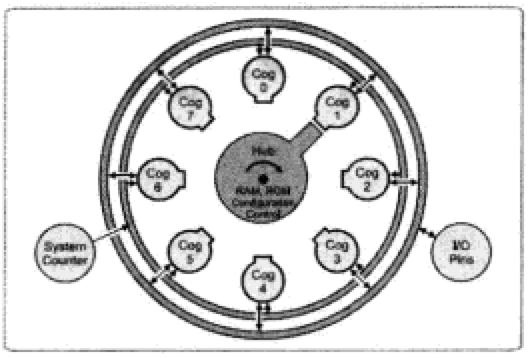


图2 Hub协调机制示意图

除了32KB的共享RAM，Propeller还配置了32KB的ROM，ROM中存储了许多有用的数据，包括用于视频发生的字符集、用于数学运算的数学用表（对数、反对数、三角函数等）、用于绘图显示的绘图数据，以及用于翻译高级编程语言——Spin语言的程序解释器。

Spin语言是Propeller程序设计的高级语言，非常高效。以笔者的使用经验来看，只要学习过C语言，掌握起来十分容易，很快就能上手进行程序设计，体验到Spin语言的独特魅力。Propeller自身并不含有非易失的可读写存储器，因此需要外配EEPROM存储用户程序，Propeller启动时会自动进行程序加载。

Propeller外部时钟的输入范围是4~8MHz，通过芯片内部倍频可以提供高达80MHz的系统时钟，每一个Cog可有20MIPS的处理能力，8个Cog就可以产生高达160MIPS的处理能力，其性能不能不说是超强啊！

Propeller开发板的设计与制作

在简要了解了Propeller微控制器之后，快来看看笔者制作的开发板吧。Propeller芯片共有3种标准的封装形式，分别是40引脚的DIP封装、44引脚的LQFP封装和44引脚的QFN封装，如图3所示。笔者制作的开发板选用的是LQFP封装的芯片，板上集成了以下几个单元：电压调理单元、处理器单元、通信单元、扩展接口等。下面就为大家分别进行讲述。

1. 电压调理单元

开发板的供电由外部变压器降压、整流，将市电转换为12V直流电后输入，板上提供5V、3.3V两组电压输出，因此，选用两组稳压芯片进行稳压，分别是LM1086-5.0V和LM1086-3.3V，封装为TO-263，并通过一系列电容进行电源滤波，以达到良好的稳压效果。板上开关SW作为电源接通的控制开关，红色LED VD1作为电源接通的指示灯，电路原理图如图4所示。

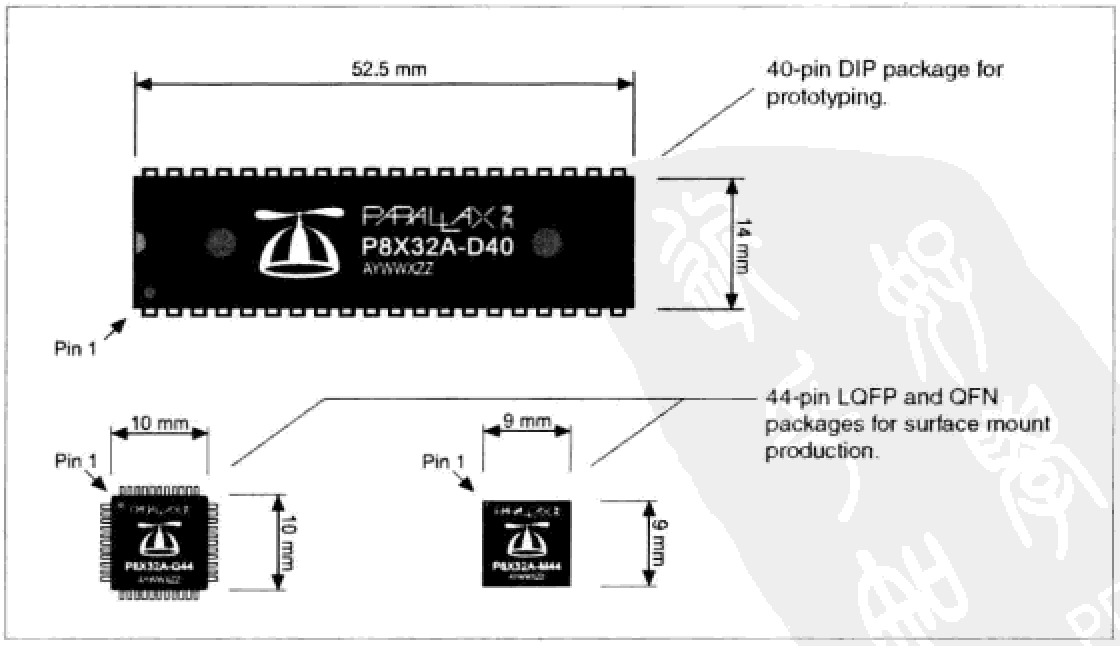


图3 Propeller芯片的3种封装方式

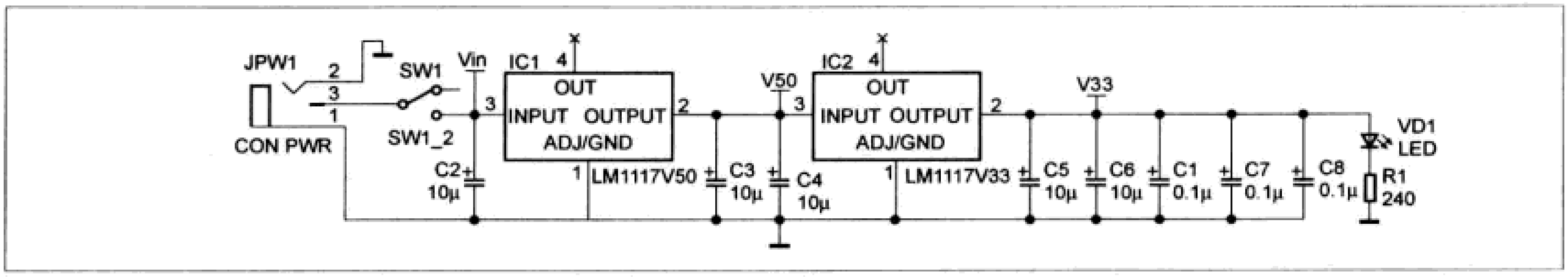


图4 电压调理单元

2. 处理器单元

处理器单元主要包含了Propeller芯片及其外围晶振、存储、复位、滤波等电路。开发板外部时钟采用5MHz晶振，这样通过Propeller内部16倍频，可实现系统80MHz的时钟输入。程序存储芯片选用AT24C512B可擦写EEPROM，封装采用8-lead SOIC，通过两线串行接口与Propeller P28、P29两引脚相联进行数据传输。系统复位按键与Propeller第7引脚RESn相联。Propeller芯片外围选用相应电容进行滤波，电路原理图如图5所示。

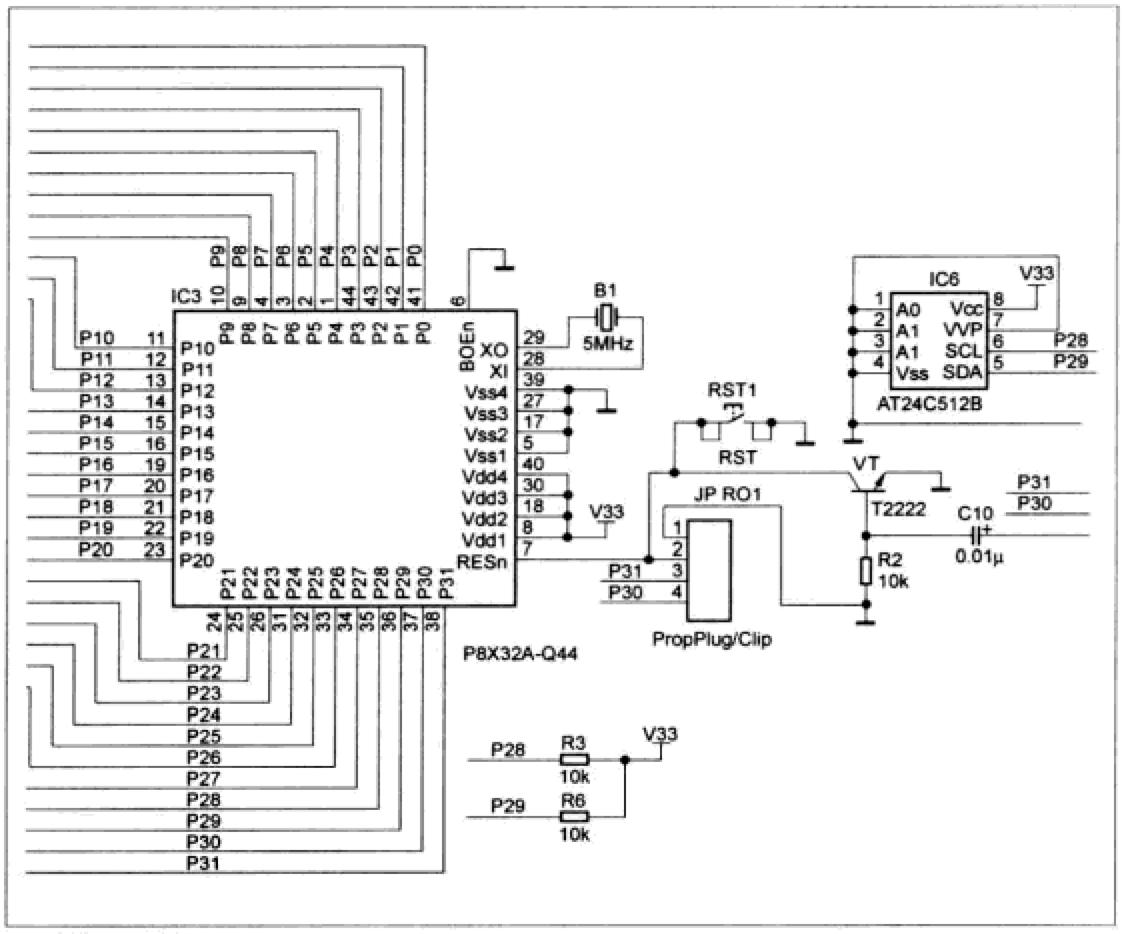


图5 微控制器单元

3. 通信单元

开发板通信单元主要是与上位机PC进行通信，完成程序下载、对Propeller芯片状态实时监测、数据实时交互传输等功能。采用芯片FT232RL作为接口转换芯片，实现USB到串行UART接口的转换。该芯片设计简单，使用方便，兼容性好，整合了电平转换器，使得其I/O口电平支持2.8~5V的宽范围。I/O引脚驱动能力强，还能自行产生时钟，无需外接时钟晶振，内部集成了电源去耦RC电路，封装采用SSOP-28。FT232RL TXD、RXD与Propeller P30、P31相联，并外接USB接口。板上使用两个LED作为通信指示灯，红色LED VD2为开发板上传指示，绿色LED VD3为上位机下传指示，电路原理图如图6所示。

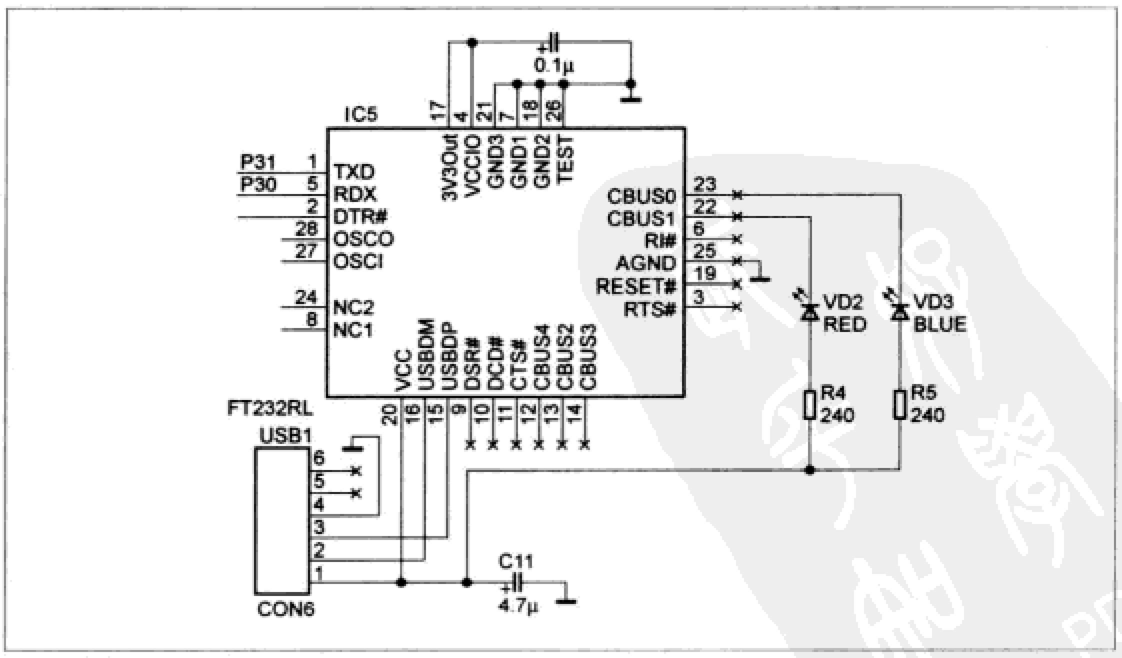


图6 通信单元

4. 扩展接口

开发板扩展接口主要是将Propeller

的32个I/O接口引出，每个I/O接口引出两个插脚，便于后续开发时与外部设备进行联接。同时，开发板将VCC 5V、3.3V和GND引出，可作为外部设备的供电和接地。开发板的各个单元就为大家简要介绍到这里，图7就是笔者做好的开发板照片。

程序设计与调试环境

俗话说“好马配好鞍”，有了强大的Propeller微控制器开发板，还应该有相应的程序设计与调试环境才能充分发挥其8核的优势。PARALLAX公司为Propeller配备的程序设计环境是Propeller Tool软件，这一软件与以往其他单片机使用的编译环境相似，但这里笔者要隆重推出的是由Hanno Sander设计开发的Propeller第三方程序设计环境ViewPort软件。

ViewPort是具有图形化用户界面的Propeller控制器编程软件，除了具备常规软件的程序设计、调试、编译等功能外，它还利用Propeller控制器8个核中的一个核在芯片与PC之间建立了一个高速数据通道，通过USB接口与PC连接，在用户运行程序的同时，能够实现数据的实时交互传输，数据传输速率可达2MB/s。有了这样的高速数据交互，将使许多应用成为可能。

ViewPort软件内含32位的逻辑分析仪功能，能够在PC上实时显示全部I/O引脚的状态，最高采样率可达80MHz；内含多通道数字示波器，可以进行电压测量值、变量值、I/O引脚状态变化的显示；可进行信号分析，包括频谱分析、坐标作图、伯德图；可通过拨盘、拨动开关、滚动条和文字输入等方式改变程序特定变量值及控制Propeller控制器生成特定信号，能够显示由Propeller控制器和A/D转换器采样的视频数据流并进行图像分析，辅助完成控制系统设计，例如PID和模糊逻辑系统的参数调节等等。图8就是ViewPort软件的其中一个功能——实时数字示波器的屏幕截图，可见有了ViewPort软件的强力支持，Propeller更是如虎添翼，用户在进行程序设计和调试时也将更加得心应手。由于ViewPort软件本身功能十分强大，笔者也正在学习之中，鉴于篇幅所限，这里不能详述，待后续笔者再写篇文章专门为大家介绍ViewPort软件的强大功能。

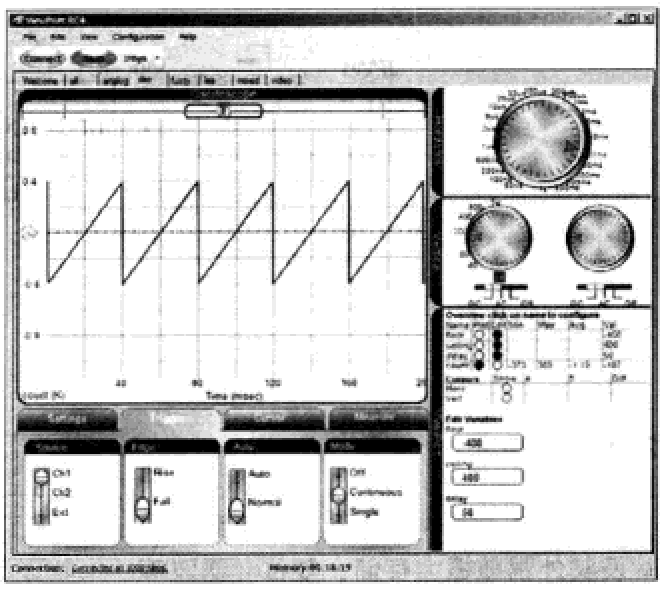


图8 ViewPort数字示波器

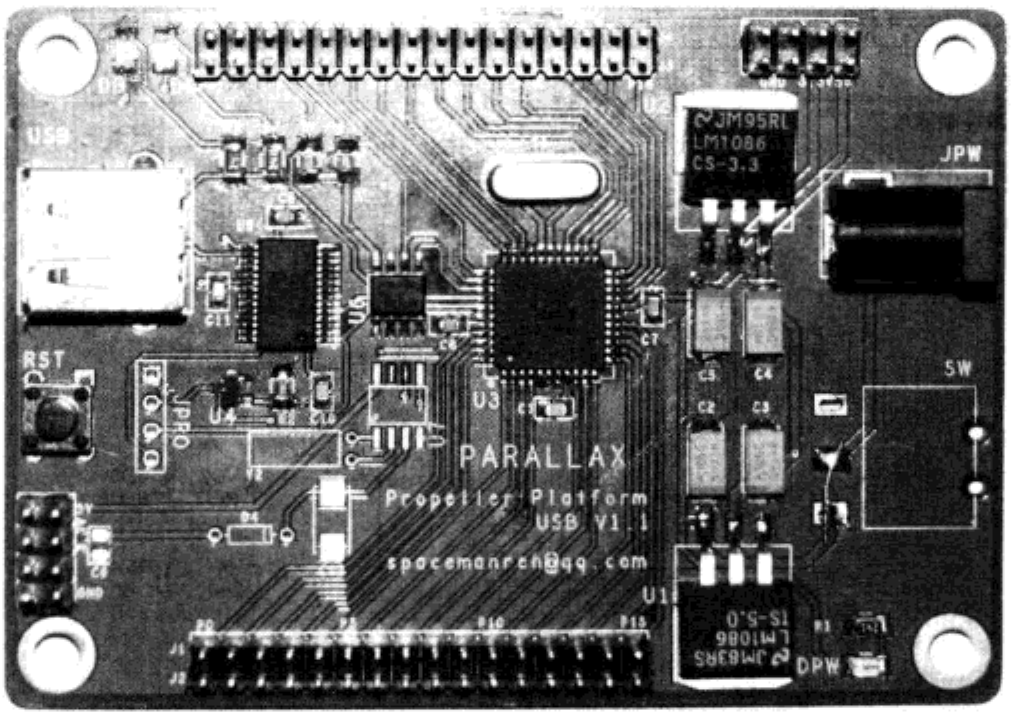


图7 制作出的开发板实物

笔者利用自制开发板和ViewPort软件学习了8核Propeller微控制器的编程操作，并制作了一些有趣的小系统，如加速度采集用于手势识别、倾角测量等等。此外，笔者还在学习外国爱好者的成果，研究制作Propeller两轮自平衡机器人及有键盘、鼠标输入和显示器输出的小型游戏机等。

外国爱好者对Propeller的开发已经走在了我们前面，由于其8核芯片自身的固有优势，关于Propeller的应用系统也是层出不穷，并且都十分具有新意，能够实现许多以往单片机所难以实现的系统集成与功能。当然，Propeller的强大功能也等待着读者们进一步开发，如果大家像笔者一样对Propeller产生了强烈兴趣的话，就立即行动起来，学习Propeller吧！今后，笔者也会将自己的应用体会慢慢向大家道来。

本期有两位作者同时撰写了关于绘图小车的稿件，由于刚好侧重于不同部分，我们就把它们安排到了一起。读者既可以分别学到车体制作和编程要点，也可以通过研究车体设计与源程序，领略到二者制作思路的相似与不同，别有一番乐趣。

语音智能小车的设计制作

◎赖程鹏　梁光胜

一直以来都想做一辆智能小车，最近由于经常使用凌阳单片机，而凌阳单片机独特的功能便是语音识别，于是，我便决定做一辆语音控制的小车。一般的小车使用的都是直流电机，虽然控制相对简单，但是精确度比较低，很难控制小车走精确的距离或者转精确的角度。所以，在这个设计中我决定使用步进电机代替直流电机来驱动车轮。也正因为小车能够非常精确地控制，所以我又增加了小车写字的功能。小车写的字大约为2cm见方。另外，由于4个轮子转向不够灵活，所以我选择两个驱动轮，一个万向轮，做成了一辆“三轮车”。

设计原理

程序第一次下载到小车后，会有一个学习语音命令的过程，单片机将需要被识别的语音记录并储存在内部的Flash中。之后，当有人对小车说话时，程序中会将话筒获得的语音数据与已经记录的语音数据进行比较，若符合某一条语音命令，就会执行相应操作。

具体的操作由单片机通过8个IO口输出脉冲控制两个步进电机转动。步进电机采用ULN2003驱动，ULN2003的输出端也可加上5.1kΩ左右的上拉电阻，使得在单片机IO输出逻辑0的时候，ULN2003能够输出5V的高电平。电路原理图如图1所示。

语音命令部分如表1所示，共分为3组命令，只有当载入其中一组命令时，该组中的命令才能被识别。其中在第2组、第3组命令执行完成之后，程序中都会重新载入第1组命令。将小车放在一张白纸上，当执行写字命令，并且依次执行写“华北电力”4个字之后，得到的效果如图2所示。

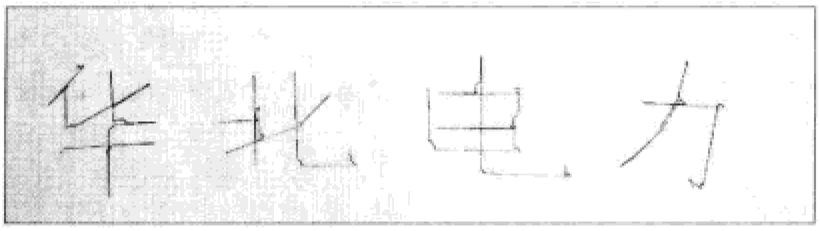


图2 写字效果图

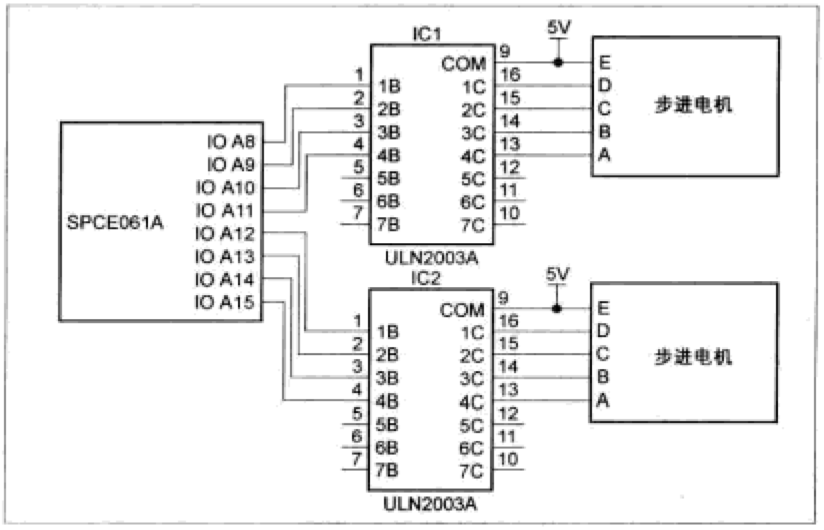


图1 电路原理图

表1 语音命令

第1组		第2组		第3组	
语音命令	执行动作	语音命令	执行动作	语音命令	执行动作
准备	载入第二组命令	前进	小车前进	华	写“华”字
写字	载入第三组命令	后退	小车后退	北	写“北”字
加速	小车加速	左转	小车左转	电	写“电”字
减速	小车减速	右转	小车右转	力	写“力”字
		转圈	小车转圈		

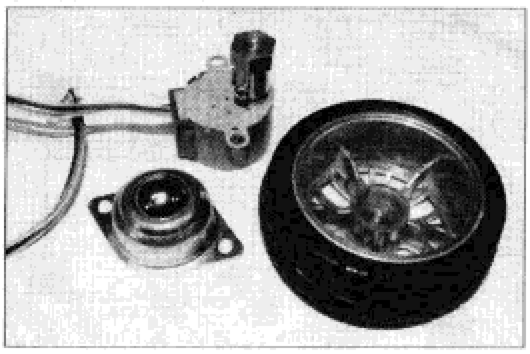
表2 制作中用到的元件表

元件	规格	数量
SPCE061A最小系统板		1
扬声器	0.5W/ 8Ω小型扬声器	1
电池盒	4节	1
车轮	直径65mm	2
电机与车轮连接件	铜质，内径5mm	2
步进电机	5V减速电机	2
开关	拨动开关	1
洞洞板	5cm×5cm	1
ULN2003、		2
万向轮	总高3cm	1
车外壳	废旧塑料盒	1
黑色水笔蕊		1
螺丝螺母、杜邦线		若干

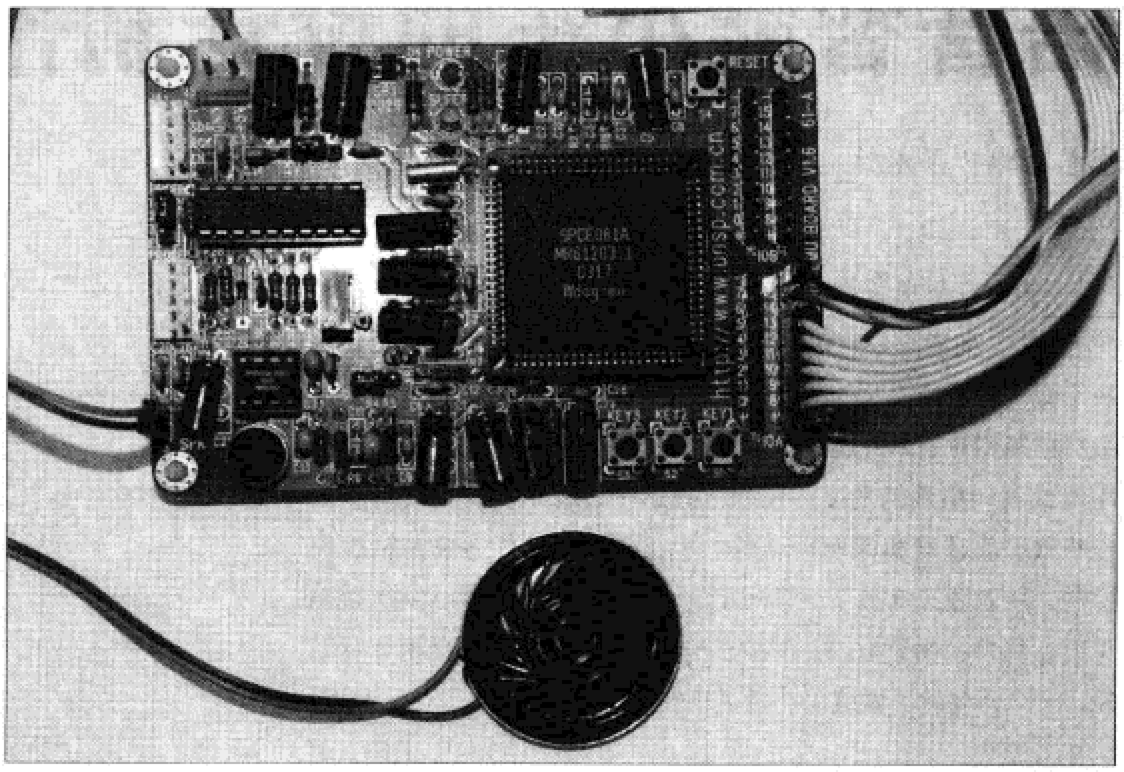
制作过程

本制作中所用到的元件如表2所示。

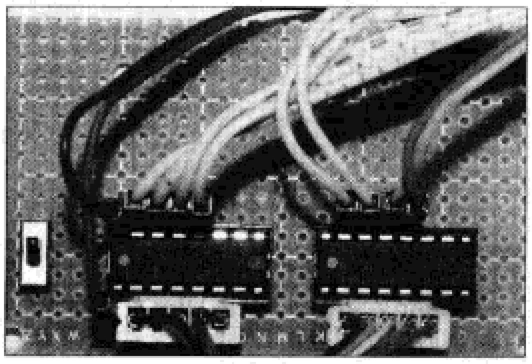
❶ 车轮部分的元件如图所示，将连接件用螺丝固定在步进电机转轴上，然后就可以将车轮固定在连接件上。小车前轮采用万向轮的设计，使得小车转动更加灵活。



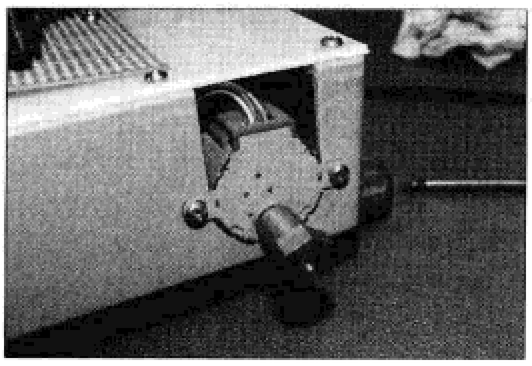
❷ 单片机控制部分采用了现成的SPCE061A单片机的最小系统板。在语音方面集成了话筒等电路，只需外接一个扬声器，即可实现语音识别、语音播放的功能。

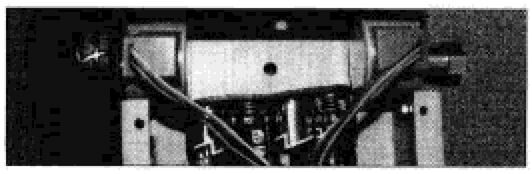


❸ 在驱动步进电机的时候，为了增大驱动电流，使用了两片ULN2003。

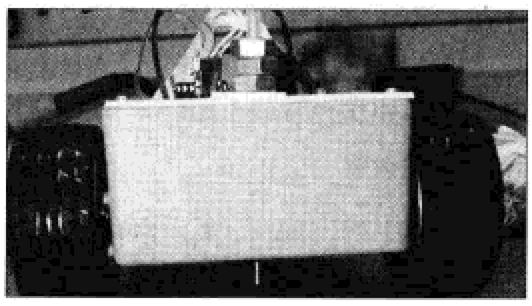


❹ 将宽度合适的废旧塑料盒子两侧用台钻钻出合适的凹槽，恰好能将电机放进去。用螺丝将电机固定在塑料盒子两侧。

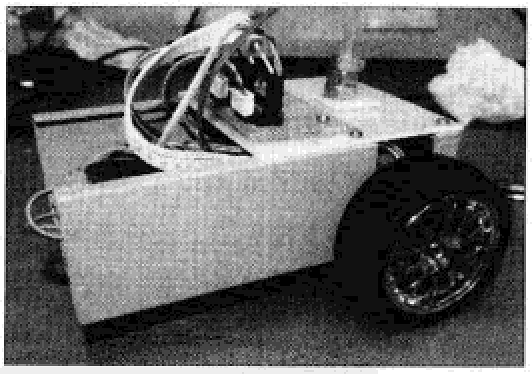




❺ 在小车两个步进电机中心位置的车体底部钻孔，上方盖板相同位置也钻孔，使得水笔芯能在竖直位置上下运动，并加上几个大螺母作为配重。



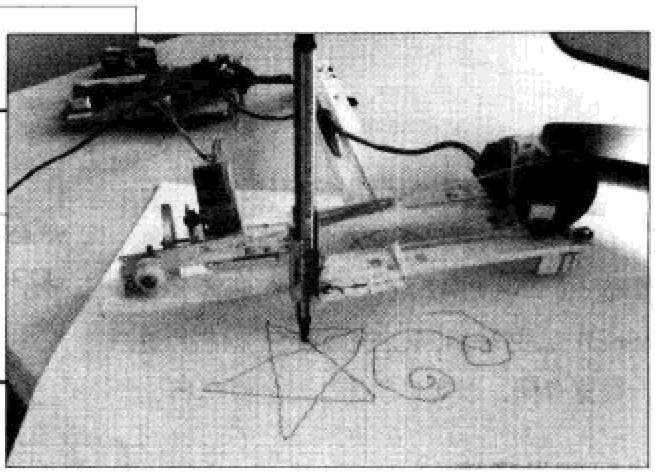
❻ 将电池盒、单片机板、驱动板固定好，整个小车就制作完成了。



总结

在这个制作中，由于使用了步进电机来驱动车轮，虽然达到了很高的精确程度，但是也导致了一个问题，那就是小车运行速度非常慢。当然，这个问题应该能通过更换成其他减速比的步进电机，甚至是没有减速的步进电机来解决。另一个问题就是由于小车画出来的线都是直线，写的字看起来非常呆板，这有待于完善程序，使得智能小车写出来的字更加美观漂亮。

■ 相关程序可在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载



智能绘图小车

◎张皓

智能绘图小车是一种绘图装置，使用两个步进电机作为动力，控制水性笔在纸张上绘图。在结构方面，横向由圆盘拉动棉线，进而拖动笔座移动；竖向由2轮驱动，类似于绘图仪的结构，也具有类似旧式电唱机的结构。为了制作简单，我没有设计抬落笔机构。

材料来源

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元步进电机件。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响。步进电机选用型号35BYJ46，额定电压为12V，相数为4，减速比为1：85.254，步距角为7.5°，驱动方式为4相8拍。因其减速比高，所以能够提供足够的驱动力，但同时也导致绘图速度较慢。机身使用旧抽屉导轨加工而成。拉线圆盘右侧为录音机中的带轮，左侧用的是窗帘上的导轮。塑料齿轮用旧四驱车内的零件。其他部件如笔、棉线、铅丝等，可从市场上采购。

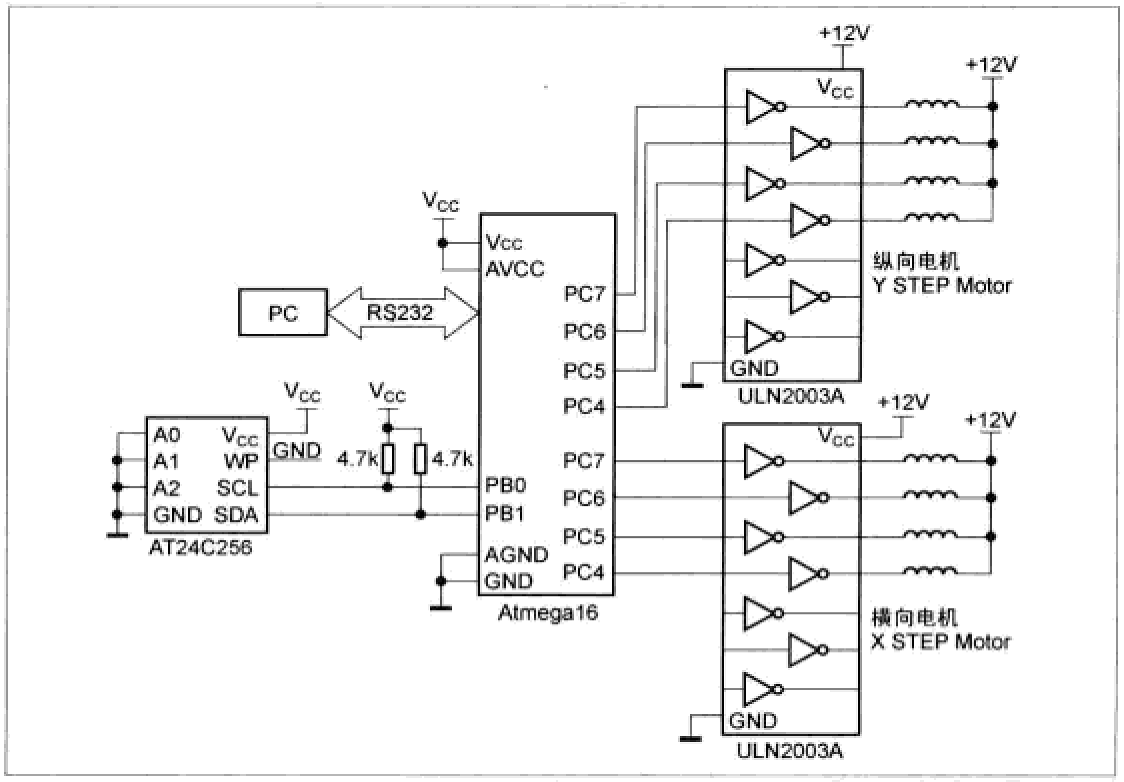


图1

电路方面

电路原理如图1所示。ULN2003/ULN2008是高性价比驱动芯片，适合驱动单极性直流步进电机，本装置使用两片ULN2003驱动。ULN2008与ULN2003的区别在于：ULN2008有8个缓冲器，比前者多1个，1片就可驱动2个电机。如要驱动双极性电机，可匹配PNP型达林顿

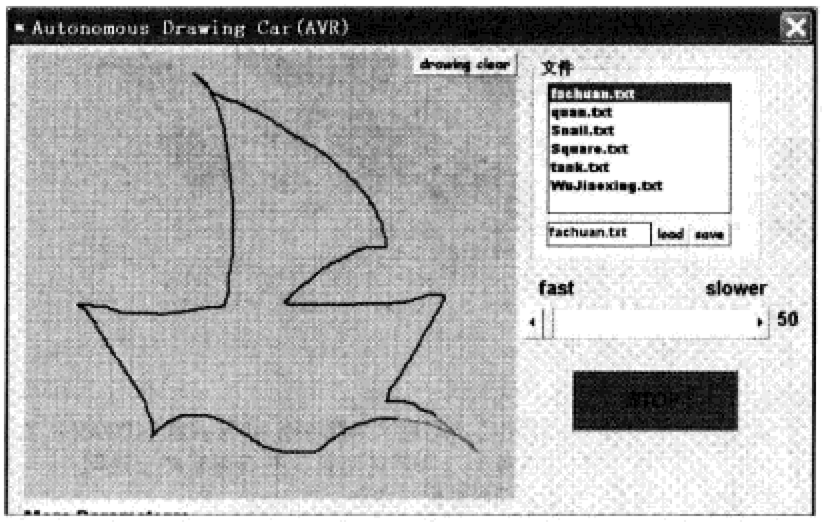


图2

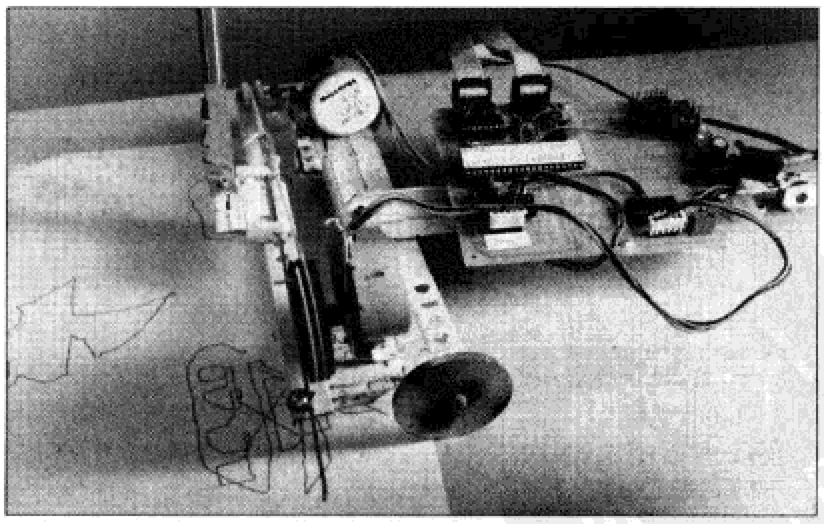


图3

管TD62783。单片机选用由ATMEL公司研发的增强型内置Flash的RISC精简指令集高速8位单片机ATmega16（存储容量为16KB），并采用24C256 EEPROM芯片进行数据存储，以实现脱离电脑独立运行。

代码开发环境

上位机使用VB，AVR用ICCAVR编写，图2所示为画一只帆船的运作轨迹，图3为小车实际绘图的效果。

数据串口传送的处理

串口只以字为单位传送，但本系统坐标数据为带符号整型(4字节)，AVR代码使用C语言指针或共用体转换，VB用内存拷贝API函数处理。

AVR代码处理：

```
uchar *p;
p=(uchar*)&xytmp;
...
for(i=0;i<4;i++)
{
while(!(UCSRA&0x20)); //坐标发送
UDR=*p;
p++;
}
```

VB代码处理：

```
Public Declare Sub CopyMemory Lib "kernel32" Alias "RtlMoveMemory" (Destination As Any, Source As Any, ByVal Length As Long)
...
CopyMemory curreclxy, RecDataBuffer(0), 4
```

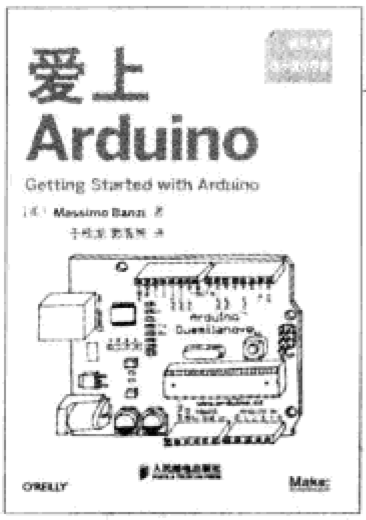
步进电机控制

步进电机的速度如果从零瞬间加速到最高速，可能会出现“失步”的问题。程序中设置了位置、速度、加速度、速度上限等几个量。速度随时间逐渐递增，并终止于速度上限，避免了失步的发生。根据不同装置的机械特性，第一次运行需设置速度值velmax和加速度值Acceleration，将它们写入到AVR的EEPROM。

AVR代码处理：

```
Y_velocity+=Acceleration;//速度递增
if (Y_velocity>velmax) Y_velocity=velmax;//速度上限
...
//步进脉冲
if (Y_velocity>0)//正转
{
Ystepval=(Ystepval<<1);
if (Ystepval>=0b010000) Ystepval=1;
Ypos++;
}
else//反转
{
Ystepval=(Ystepval>>1);
if (Ystepval==0) Ystepval=0b01000;
Ypos--;
}
```

■ 相关程序可在《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载



ISBN:978-7-115-25350-7　定价：38元
开本：16开　页码：102页

新书推荐

Arduino是一个开源电子原型制作平台，包括一个简单易用的电路板以及一个软件开发环境。Arduino既可以独立运行，又具备互动性。它可以与PC的外围装置相连接，还能与PC软件进行沟通。它在电子设计爱好者们中间引发了一场风暴。

本书透彻地介绍了Arduino的相关内容，它会给你带来许多制作项目的点子，并帮助你顺利地实现从开始策划直到完成安装的全过程。

本书英文版长期稳居AMAZON网站
Arduino相关图书销售排行榜第一名！

书中你将会学到：

- ★ 交互设计和物理计算
- ★ Arduino硬件和软件开发环境
- ★ 电力和电子的基础知识
- ★ 在焊接板上进行原型测试
- ★ 绘制图表

有了方便的硬件和能免费下载的开源软件，爱上Arduino就非常容易了。要尝试本书的示例，只要一个USB Arduino、USB A-B线和一个LED就足够了。

系列书之《Getting Started With Processing》2012年出版。

套件赠书销售活动

即日起，凡在我社邮购部购买 Arduino 基础入门套件一套（包快递 379 元），即可免费获得我社最新出版的《爱上 Arduino》图书一本，数量有限，快快行动吧！

购买方式：

1. 邮局汇款：
汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街 14 号 A 座（100061）
汇款注意：请务必注明您的电话，并在附言栏上注明：
“Arduino入门套件配书活动”。
2. 淘宝网店购买：boqu.taobao.com

活动咨询电话：010-67134361

Arduino网络门禁控制系统

◎海特（Hector） 许腾

当前大多数办公场所门禁的远程控制都是基于有线的按钮来实现的。这样一种形式对办公场所布线以及相应的外设按钮有所要求，所以显得不够简洁和灵活。下面给大家介绍的这个小项目——网络门禁控制系统，是利用网络和无线通信技术，通过登录DIY的网页控制界面实现门禁系统的网络远程控制。

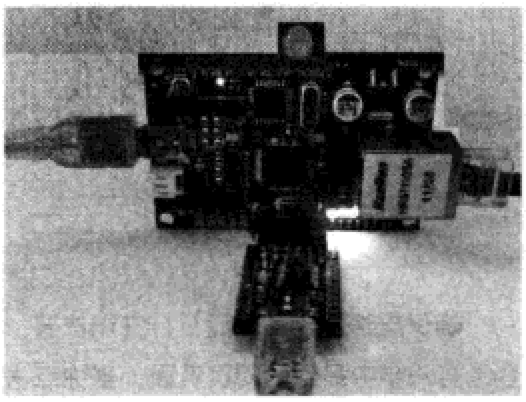
这个项目需要的硬件有：Arduino（开源硬件平台）、DFRobot Xboard、一对XBee无线通信模块，还有一个继电器。其中Arduino是继电器的下位机控制器，Xboard提供了与互联网连接以及数据通信的硬件接口，XBee模块将通过Xboard网络形式接收到的上位机信号指令以无线形式传输到Arduino控制器终端上，从而实现对继电器的控制。

除此之外，我们还需要的附加硬件有：FTDI 程序下载器、路由器、网线、电源、连接线。有了以上的硬件，就可以一步步来制作，完成这个简单而实用的DIY项目。

第一步：设置XBoard

❶ 首先在Xboard的引脚上焊上排针，用来提供与FTDI 程序下载器的接口，进行程序的烧写。焊接完成后，连接FIDI程序下载器下载程序。

❷ 将连接PC端的FTDI 程序下载器连接到XBoard上，并通过USB接口给XBoard供电。



注意

1. 烧写代码时不能将XBee插在XBoard上。
2. 烧写过程中要通过USB接口给XBoard单独供电。

完整代码下载地址：

www.dfrobot.com/community/index.php/2011/07/tutorial-using-the-arduino-xboard-to-control-a-magnetic-door-lock-from-a-web-interface/

❸ 将改写好的样例代码下载到XBoard里面。操作步骤如下：

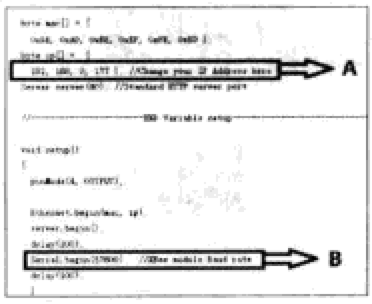
1. 打开Arduino IDE软件，将完整的样例代码复制到里面。

2. 将图中代码A处的IP地址（192.168.0.177）更改为当前局域网的IP。

3. 将图中代码B处的波特率更改为当前XBee模块的波特率。

4. 选择“tools → Boards → Arduino Fio”，将代码下载到XBoard里。

5. 最后将网线和XBee模块插到XBoard上。



❹ 完成以上步骤后，可以打开浏览器输入相应的地址，如192.168.0.177，就会看到一个纯文本的网页页面，上面有一些相关的操作选项。这样，XBoard设置这部分就完成了。

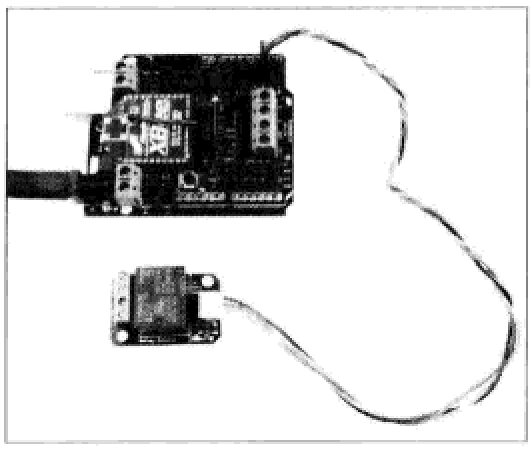
第二步：设置Arduino控制器

作为接收指令和控制电子门禁的终端，Arduino需要有连接无线通信模块（XBee）的部分。这里我推荐使用的是DFRobot的IO扩展板，这块扩展板不仅可以提供XBee模块的直接插口，而且还很容易让Arduino与其他的传感器连接。

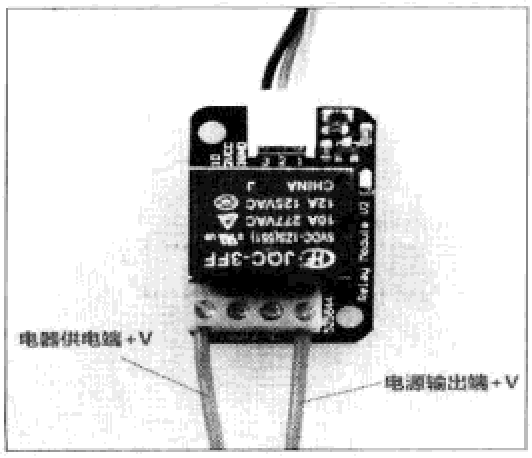
1 首先将Arduino端的样例代码中的波特率修改为当前XBee模块的波特率，然后将代码下载到Arduino里面。

```
void setup() {
  pinMode(RELAY, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  Serial.begin(57600);      => C
  delay(500)
 Serial.print('L');
 digitalWrite(13, HIGH); //indicates locked positon
}
```

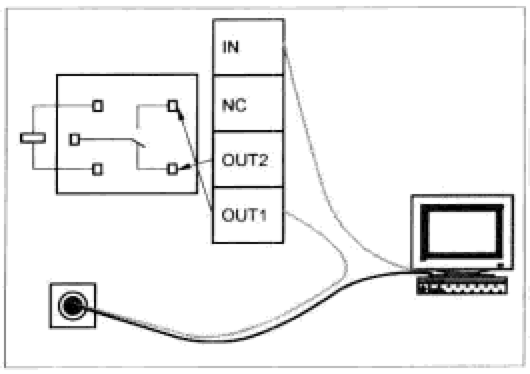
2 将XBee模块和继电器插到Arduino上的IO扩展板上。代码中，继电器连接的引脚定义在数字口2上，当然你也可以更改代码中的引脚定义。



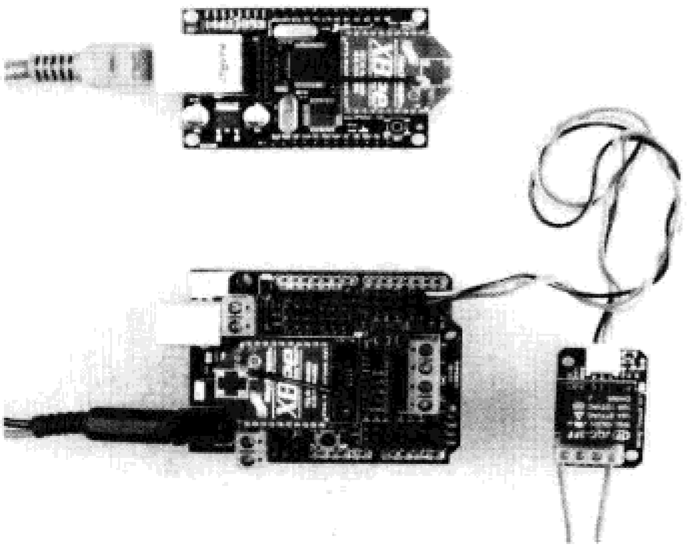
3 将继电器接入门禁电路。门禁以及其他电器的电路多为高电压的，接入时须注意安全。



4 继电器的工作原理如图所示。对于Arduino控制单元的供电可以直接使用外部7～12V的电池，也可以直接从电器供电端引入直流电压。例如，此案例中门禁的驱动电压为16V直流电压，可以通过降压模块将此电压直接降至Arduino标准供电电压来对Arduino进行供电。



第三步：整体调试



确保电路连接正确后，打开浏览器，登录第一步中提到的网页页面。当你点击“Open”和“Submit”按钮后，听到继电器动作的声音时，就说明你成功了。如果整个系统有问题，很可能是两块XBee模块没有配对成功，或是数据通信有问题。

展望

有兴趣的朋友完全可以对这个项目进行升级改造，实现一个小型的智能家居网络控制系统。想想看，我们可以在办公室里通过电脑网络，或者通过手机网络来随时随地控制家里的各种电器设备。不仅如此，通过Arduino控制器改装的设备，还提供了可以自由DIY的可能。很有意思吧？那就赶紧行动吧！！

套件销售

XBee无线通信模块	197元/个
XBee传感器扩展板	75元
DFRobot Xboard	198元
FTDI下载器	75元
继电器模块	75元
	每套邮费15元

购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

RoboPeak USB Connector

免驱动的USB接口AVR/51 ISP编程器

◎RoboPeak

本期我们向大家分享RoboPeak团队开发的免驱动的USB接口AVR/51 ISP编程器——RoboPeak USB Connector。它的硬件和固件设计完全开源，配合Arduino-Lite使用会有很多便利，希望能对各位AVR/Arduino开发者和爱好者有所帮助。它仅使用单个Atmega88芯片制作，采用USB-HID协议，无需任何驱动即可运行在任意版本的Windows、Linux、Mac OS操作系统上。相比目前尚未良好支持Windows Vista和Windows 7的USBasp编程器，它的优势是显而易见的。

RoboPeak USB Connector，如图1所示，是用于AVR/C51单片机芯片的USB接口编程器，它由AVR-Doper（http://www.obdev.at/products/vusb/avrdoper.html）项目衍生而来。因为自身采用HID协议，无需安装任何驱动程序，即可在各类Windows（包括64位版本）、Linux、Mac OS上工作。

RoboPeak USB Connector可以认为是AVR-Doper的简化版本，同时开发团队用上期介绍的Arduino-Lite库重写了它的固件代码，并且在Arduino-Lite中提供了对它的支持，配合Arduino-Lite，可以很方便地对AVR芯片进行开发和编程烧录。

借助于V-USB的软件USB协议模拟，RoboPeak USB Connector仅包含一块ATmega88芯片即可，无需USB接口芯片，降低了制作成本。

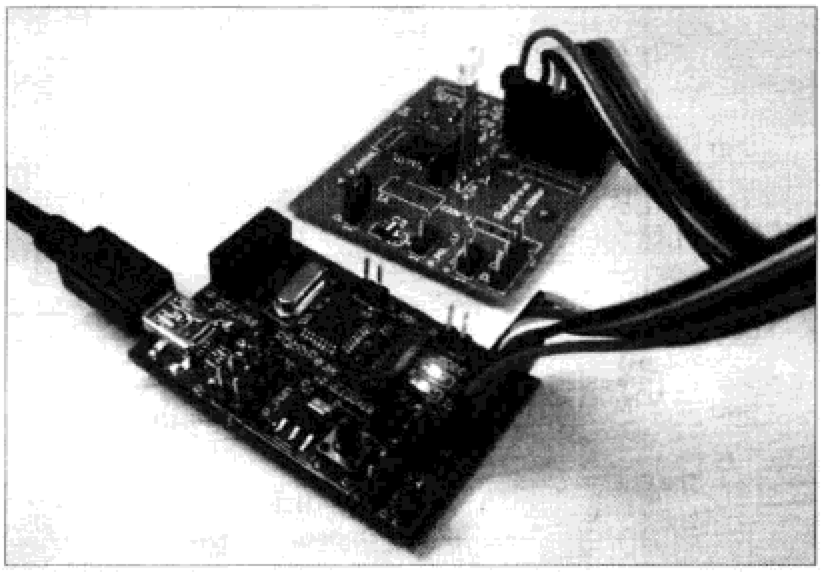


图1 编程器实物图

与Arduino-Lite结合给AVR/51设备编程

RoboPeak USB Connector与Arduno-Lite配套使用时将有很多便利，在Arduino-Lite中使用make burn命令即可通过RoboPeak USB Connector将hex文件烧录进目标AVR芯片，无需安装或配置任何程序和环境。

■ 演示视频：http://www.tudou.com/programs/view/Den9uh3HTHE/

这里以Windows7 64位版本为例，当RoboPeak USB Connector接入系统后，会识别出AVR-Doper设备。用ISP下载排线连接目标被编程设备后，进入需要烧录的工程目录，使用make burn命令即可开始下载、烧录过程，如图2所示。

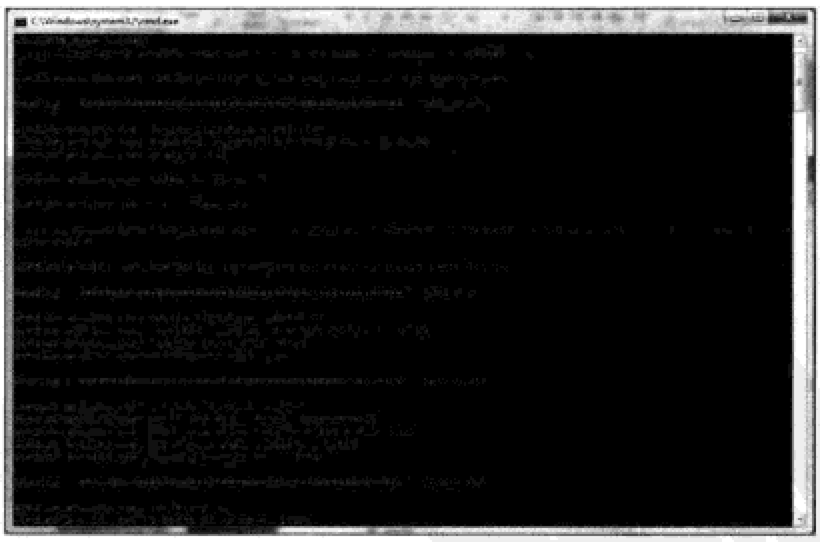


图2 Windows 7系统下的下载、烧录界面

■ 项目主页：http://code.google.com/p/rp-usb-connector/

在非Arduino-Lite环境中烧录

目前AVR-GCC（WinAVR）中的avrdude.exe支持AVR-Doper

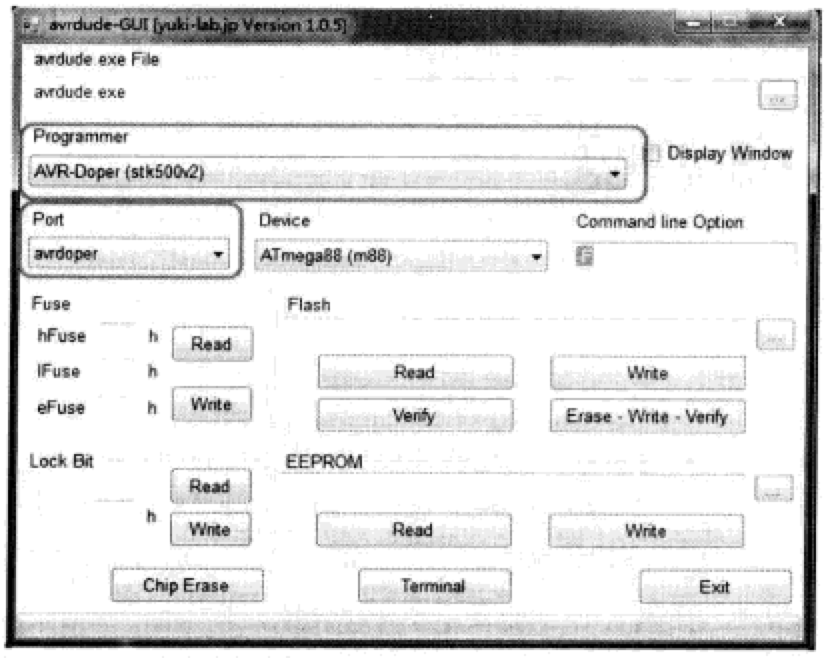


图3 awdude-GUI程序的设置

协议的设备，因此可以直接使用该程序，利用RoboPeak USB Connector进行编程。事实上Arduino-Lite也利用了该程序。推荐使用网络上可用的avrdude GUI包装程序进行操作，这里以avrdude-GUI（http://sourceforge.net/projects/avrdude-gui/）程序为例进行设置，如图3所示。你也可以在命令行下使用如下命令进行编程烧录作业：

```
avrdude.exe -P avrdoper -c stk500v2 -p <AVR_chip_type> <Operations>
```

此外也可以参考AVR-Doper项目的文档获取别的方式（http://www.obdev.at/products/vusb/avrdoper.html）。

如何制作

RoboPeak USB Connector的原理图可以在从项目主页Downloads目录下载到的项目文件的hardware目录中找到，如图4

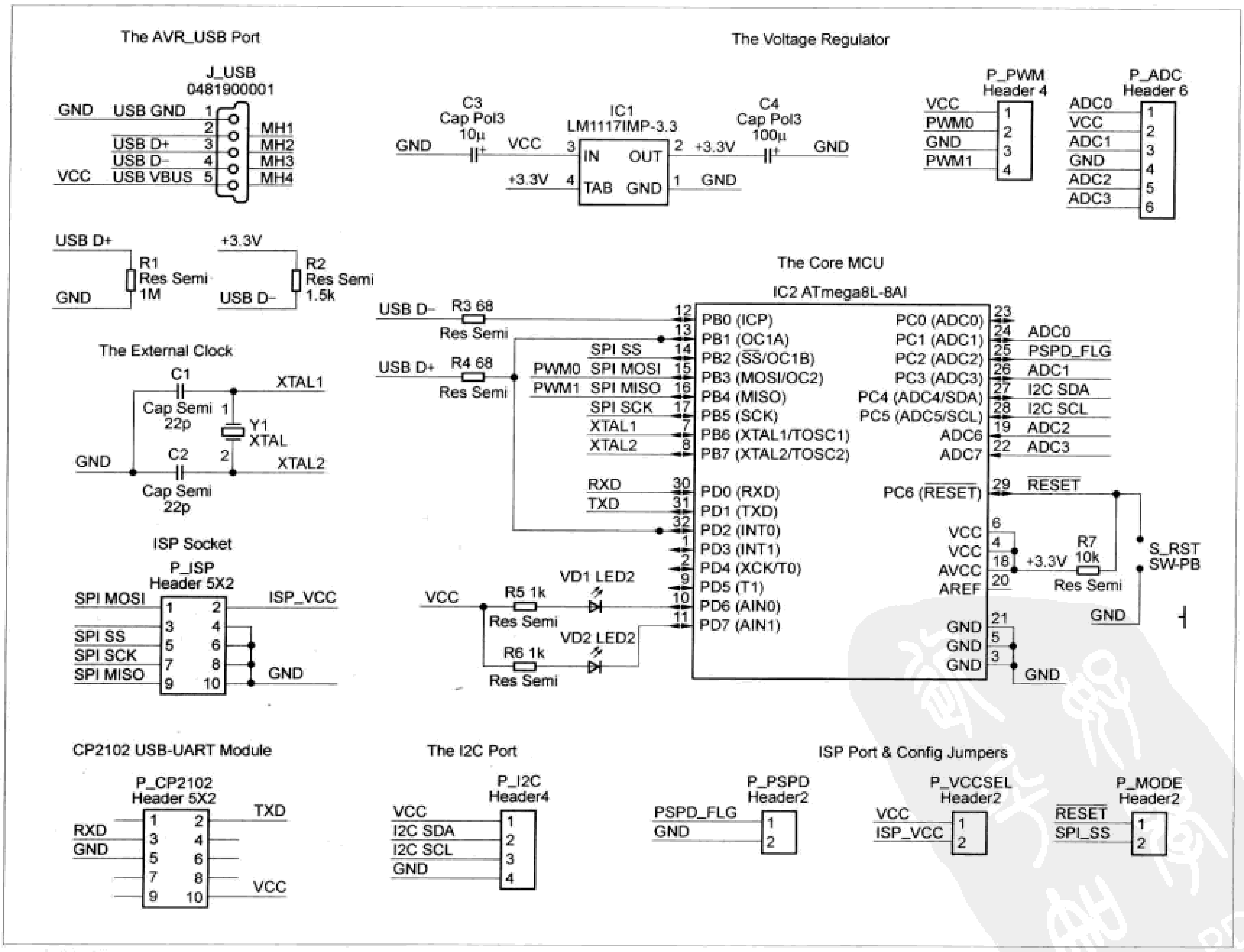


图4 电路原理图

带单片机时钟的小夜灯

◎周兴华

我们制作的这款小夜灯时尚精美，光线柔和，光控全自动操作，耗电少，白天自动关闭，夜晚自动点亮。该小夜灯带有单片机控制的高清晰数字时钟，方便在白天或夜晚的黑暗环境中掌握时间，适用于宾馆、酒店、走廊、橱窗灯光、卫生间、KTV、医院等在晚上需要微亮照明的场所，尤其适用于中老年人起夜后查看时间。发光器件采用超高亮度的LED，使用寿命长达10万小时，无污染，是绿色、环保的高科技产品。

电路概述

电路原理见图1，相当简洁。市电经C1降压后由VD1~VD4整流，在C2、C3上得到低压，VD5、VD6为简易稳压电源，稳压值约为6V。RG、VT1、VT2及LD1、LD2组成光控发光电路。白天，环境光的照射使得RG为低阻抗，VT2、VT1导通，LD1、LD2被VT1的C、E极短路而不发光；夜晚，RG表现为高阻，VT2、VT1截止，LD1、LD2发光。当然也可以由单片机控制LD1、LD2熄灭，只要单片机的P3.4脚输出一个低电平即可。走时的核心为AT89C2051单片机，由它完成走时及高亮度数码管的驱动。电路中，按键SET、ADJ用作时间调整。共阴4位数码管模块IC2作为时间显示，其中个位、十位作分显示，百位、千位作时显示，百位的小数点作秒点显示。排阻RP为数码管数据口的上拉电阻。

为了防止夜间偶尔市电掉电造成走时不准，笔者还设计了3.6V的镍镉后备电池，一般市电掉电几十分钟不会造成走时误差，平时则通过J1、R8对电池充电。

所示。可以参考RoboPeak正在使用的布局方式，如图5所示，我们今后也会发布PCB layout文件。

编译固件

该过程具体见项目文件中的README文件。RoboPeak USB Connector使用Arduino-Lite进行开发和编译，大致过程是将RoboPeak USB Connector的固件代码放入Arduino-Lite项目区进行编译即可。

烧录固件到RoboPeak USB Connector

可以使用Arduino-Lite并用make burnall命令来完成对新制作的RoboPeak USB Connector的编程。该命令将会把固件hex文件以及BootLoaderHID的固件下载到目标AVR芯片，并且目标芯片的熔丝也会自动得到配置。

也可以人工对RoboPeak USB Connector进行编程，使用如下的熔丝设置：

```
// 仅用于Atmega88

LFUSE=CE
HFUSE=DD
EFUSE=00
```

此外你还需要烧录BootloaderHID固件，它的hex文件可以在Arduino-Lite项目中找到（Arduino-Lite/src/bootloaders/hidbootloader/pre-compiled/mega88_12M.hex）。

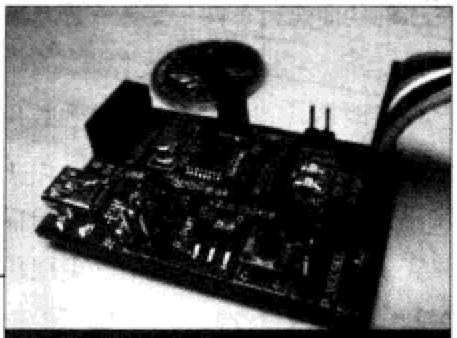


图5

自我编程能力

RoboPeak USB Connector支持自我编程能力。在固件中包含了一个免驱动的USB Bootloader——BootloadHID（http://www.obdev.at/products/vusb/bootloadhid.html）。

在某些情况下，例如，你需要更新RoboPeak USB Connector的固件，但却只有一套RoboPeak USB Connector设备，此时，自我编程能力就很有用处。

请按照如下步骤进行自我编程：

1. 连接位于P_ADC排针上的ADC0（PC1）和VCC引脚。
2. 将RoboPeak USB Connector连接至PC。
3. 此时，操作系统提示有一个名为HIDBoot的设备接入了。
4. 进入RoboPeak USB Connector的固件工程目录，开启用于编译的bash shell终端，输入make usbupload并执行。

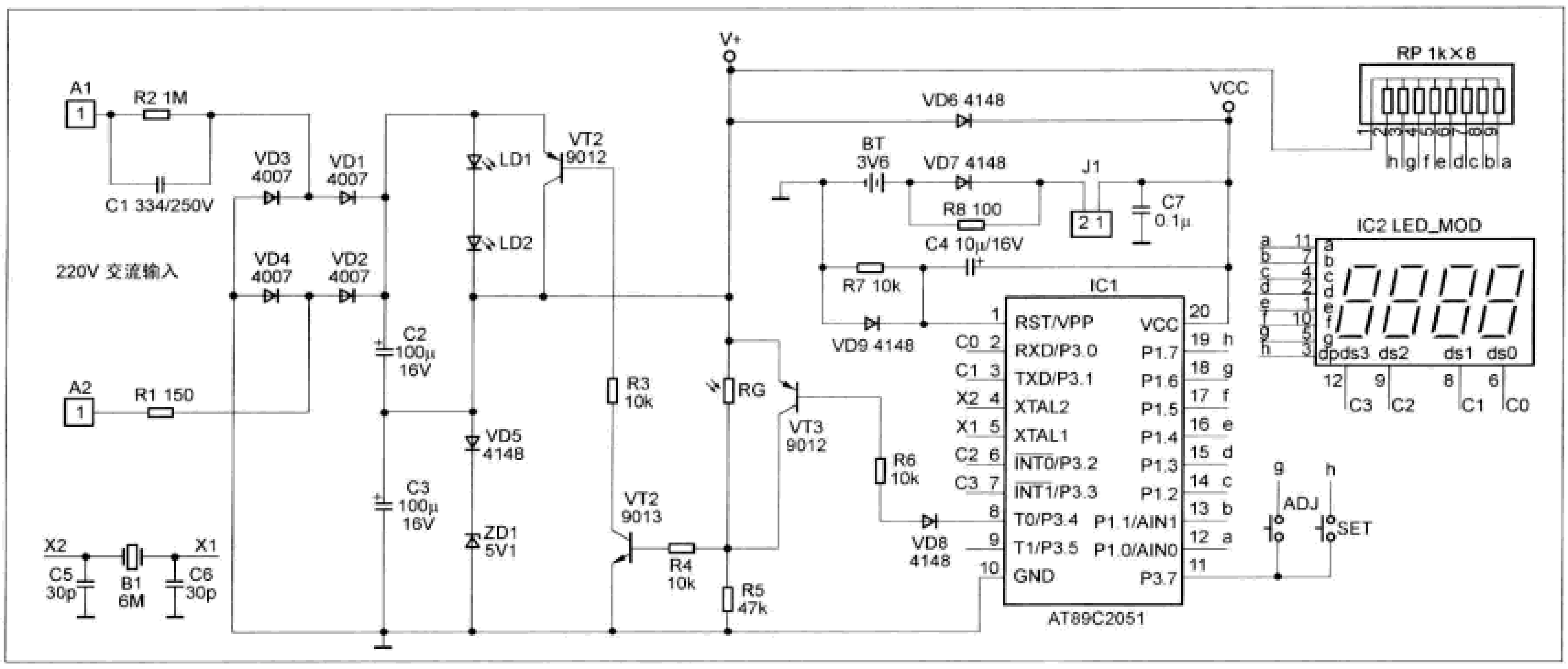


图1 电路原理图

软件设计

为了降低系统功耗，主程序在初始化之后就进入休眠状态，因此功耗很低，而程序的功能执行在两个定时中断子函数中进行。

定时器T0 100ms中断子函数用于实现走时。定时器T1 2ms中断服务子函数除用于扫描数码管外，还用于扫描按键并实现时间调整，也可编程实现单片机控制小夜灯发光/熄灭。

制作使用

由于元器件不多，整机可装于很小的印制电路板上。所有电阻均为1/4W金属膜，数码管为4位共阴高亮度型KD3641AU。单片机使用Atmel公司的AT89C2051，也可使用新唐公司的W79E2051，但要注意配置位的设置。稳压二极管ZD1选购5.1V/0.5W的产品。小夜灯使用的发光管可使用直径5mm的白光LED。光敏电阻需购买亮阻小于10kΩ、暗阻大于1MΩ的。由于按键只有2个，因此有必要介绍一下使用方法。

1. 初次上电以后，数字时钟会闪烁。按一下任意按键，显示00:00，代表走时。

2. 按一下SET键，显示HT00；按住ADJ键可以加法调整“时”。

3. 按一下SET键，显示HL00；按住ADJ键可以减法调整“时”。

4. 按一下SET键，显示FT00；按住ADJ键可以加法调整“分”。

5. 按一下SET键，显示FL00；按住ADJ键可以减法调整“分”。

6. 按一下SET键，显示当前时间XX：XX；开始走时。

注意：如果按下某一键后，未按其他键，则5秒后自动返回到走时状态。

照明的灯光由光控电路自动控制，无需人为操作。图2所示的是笔者制作的样机在、晚上运行时的照片。

■本文相关源程序可到《无线电》杂志官方网站www.radio.com.cn上下载

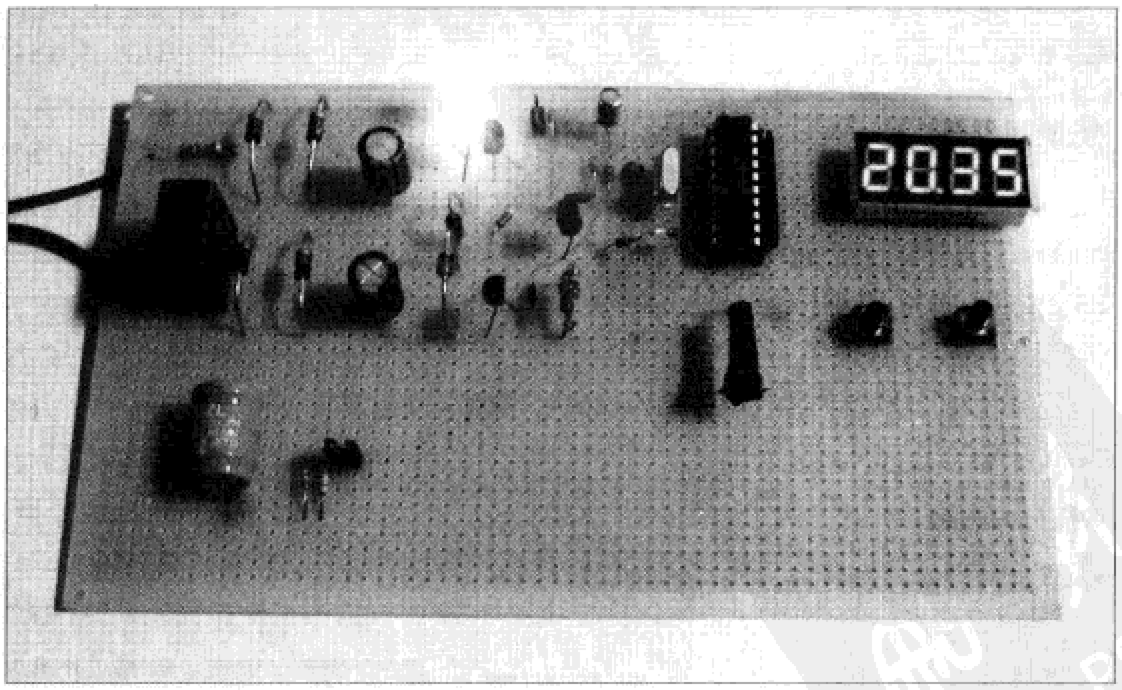


图2 样机在晚上运行

GPS记录器DIY

◎陈飞

全球定位系统，小名GPS，大家一定不陌生，对于我们来说，它只有一个功能——定位，说白了，就是它能告诉我们现在所处的经纬度。

虽然功能简单，可由此衍生出来的应用可就不少了，比如车载导航仪，不光能告诉我们现在在哪，还能告诉我们怎么去想去的地方；又比如某个车队要了解车辆的位置，那就给每个车子装个GPS和无线收发设备，实时了解车辆信息。

除此之外，还有些另类的应用：比如 GPS授时，所谓授时，就是告诉我们现在几点钟了。虽然这有点大材小用的意思，不过这时间是相当准确的，可以精确到毫秒级，可以作为许多应用的标准时钟。再有就是今天我们要DIY的这个“GPS 记录器”了，简单说来，就是把我们所经过的位置记录下来的装置。有人要问了，这有什么用呢？假如有驴友旅行过程中发现一段非常漂亮的路径，路上湖光山色，风景秀丽，他就可以利用这个装置将路径记录下来和朋友们分享；假如探险家外出探险，也可以利用这个装置将路径记录下来，探险结束后按原路安全返回。这，就是路径回溯功能。

接下来让我们了解一下必备的基础知识。

GPS 原理简介

GPS应用已经非常普及，现在很多手机都集成了 GPS 导航的功能，但是光有导航仪或者是GPS接收器是不行的，它还得有天上挂着的24颗卫星作为信号的来源。这24颗卫星就像草莓外面的籽一样均匀地分布在地球上空，基本上在全球任意地方都能接收到GPS卫星的信号。接收器根据卫星发送的含有报文的信号来计算处于哪个位置。除此之外，我们不能将卫星发射上去之后就不管了，所以，地球上还有地面中心对这些卫星进行监控和数据修正。所以，完整的GPS系统包括 GPS卫星、用户接收端、地面监控中心。

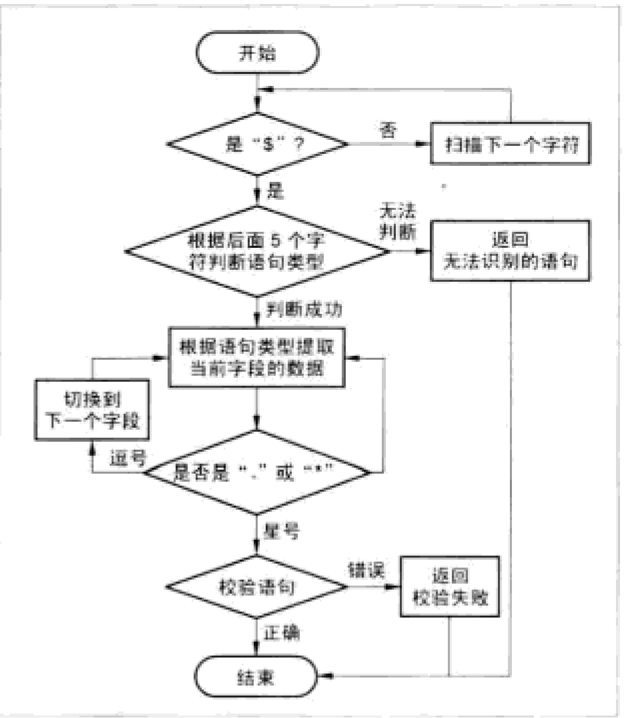


图1 解析流程

GPS 接收端与通信协议

上面讲的GPS系统包含3部分，但是我们平时能接触到的只有接收端。别看现在市面上各种牌子的导航仪和接收器数不胜数，但上面用的GPS接收处理的芯片，全球就只有几家公司有能力设计。其中，SiRF的芯片占据了民用市场七八成的份额，而目前用的比较多的是2004年发布的SiRFstar Ⅲ，也就是所谓的“第3代”芯片。

接下来就是让其他产品能“听懂”从GPS芯片发出的数据是什么意思了，这时就需要有个通信协议。目前大部分GPS模块采用的是NMEA0138协议。这个协议涵盖了许多方面，GPS只是用到其中的一部分。

NMEA 协议简介

NMEA是由美国全国海洋电子协会（The National Marine Electronics Association）制定的一套通信协议，是目前GPS最常见的通信协议。

以笔者的这个GPS 模块为例，它将接收到的GPS卫星信号解码之后，通过串口以NMEA格式输出，而用到的语句只有4个：$GPGGA、$GPGSA、$GPGSV、$GPRMC，其中美元符号（$）代表前缀，表示语句开始，GP代表对象，代表用在GPS上；后面的 GGA、GSA、GSV、RMC等是语句类型；每条语句的各个数据字段用半角逗号（,）分开；结尾为*XX<CR><LF>，XX是整个语句的校验和，以检验收到的语句是否正确，<CR><LF>代表回车和换行，表示该条语句结束。

我们所要做的就是将其接收下

来，解析出我们要的数据，再进行下一步的应用。

数据解析和保存

有了从模块那里收到的数据，接下来就是解析出里面有用的数据了。图1所示为简单的解析流程。

由于使用的是单片机，所以最简单的保存数据的方案便是使用SPI接口的Flash。另外由于NMEA语句是为了便于传输，采用字符形式，所以“身材”比较大，基本上每次的数据量在300～500字节，由于Flash容量限制，不能将原始的 NMEA 语句直接保存，所以我们自己定义了一个存储格式，将其中有用的数据摘出来以二进制的格式保存，这样每次的数据顺利地缩小了。在实际应用中，每个点的数据只需要32字节。

如何浏览路径

说到这里，就必须请出神器——Google Earth了。这是谷歌出的一款可以看卫星图的软件，可惜的是目前的6.0版还不能直接支持NMEA协议。不过Google Earth支持另外一种语言，那就是KML。其全称是Keyhole Markup Language，基于XML，同样，它包含了很多复杂和高级的内容，在此不再赘述，我们只需要用到其中一部分——在Google Earth 中画路径。

下面是一个最简单的KML示例：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2. 2">
<Document>
<name>Path from GPS Logger V2</name>
<Placemark>
<name>Path Name</name>
<Style>
<LineStyle>
<color>ff00ffff</color>
<width>5</width>
</LineStyle>
</Style>
<LineString>
<coordinates> </coordinates>
</LineString>
</Placemark>
</Document>
</kml>
```

这个KML文件被Google Earth读取后会生成：

简单来说，它告诉Google Earth，生成一个文档，名字为Path from GPS Logger V2，其中有一个路径，名字叫Path Name，路径的是“连线”的模式，颜色为黄色（ff00ffff），线宽5像素，而具体经纬度信息则包含在<coordinates></coordinates>标签中，继而Google Earth会根据其中的经纬度信息绘制出一条折线。

所以，只要将之前保存的每个点的数据，依次填充到<coordinates></coordinates>标签中，则生成的KML被Google Earth读取之后显示的就是我们记录的路径。

至此，我们自制记录器所需要了解的背景都全部知道了，接下来便是制作的过程了。

主要功能目标

直接显示当前日期和时间、经纬度、海拔、速度、方向等信息，显示卫星信号强度、卫星数目、分布情况等。

将位置信息记录到存储器中，并显示当前空间使用情况。板载的Flash可用保存50994个记录点，按每秒一次计，可连续记录14小时。当空间满了之后，可以将数据转存至TF卡之后重新记录。可实时浏览存储器中的数据，也可将存储器中的记录导出，或者转换成 Google Earth可以识别的 KML格式。

GPS记录器的设计

GPS记录器的模块框图如图2所示。数据通信方面，GPS模块通过串口与MCU通信，TF卡和SPI Flash则分别挂载在两个硬件SPI上，LCD通过并行方式与MCU连接。供电方面，采用锂电池（自带过充过放保护电路）供电，由于GPS内置了LDO（低压差线性稳压器），所以直接与电池连接，另外一路则经3.3V LDO输出给MCU、LCD、Flash和TF卡供电，同时，用STM32自带的ADC模数转换测出锂电池的电压，以此估算剩余电池电量。图3为根

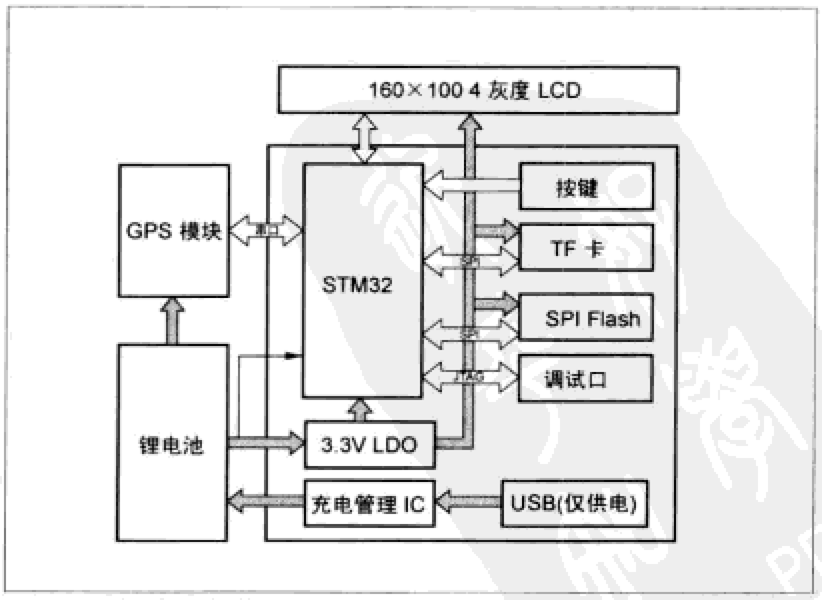


图2 GPS记录器的模块框图

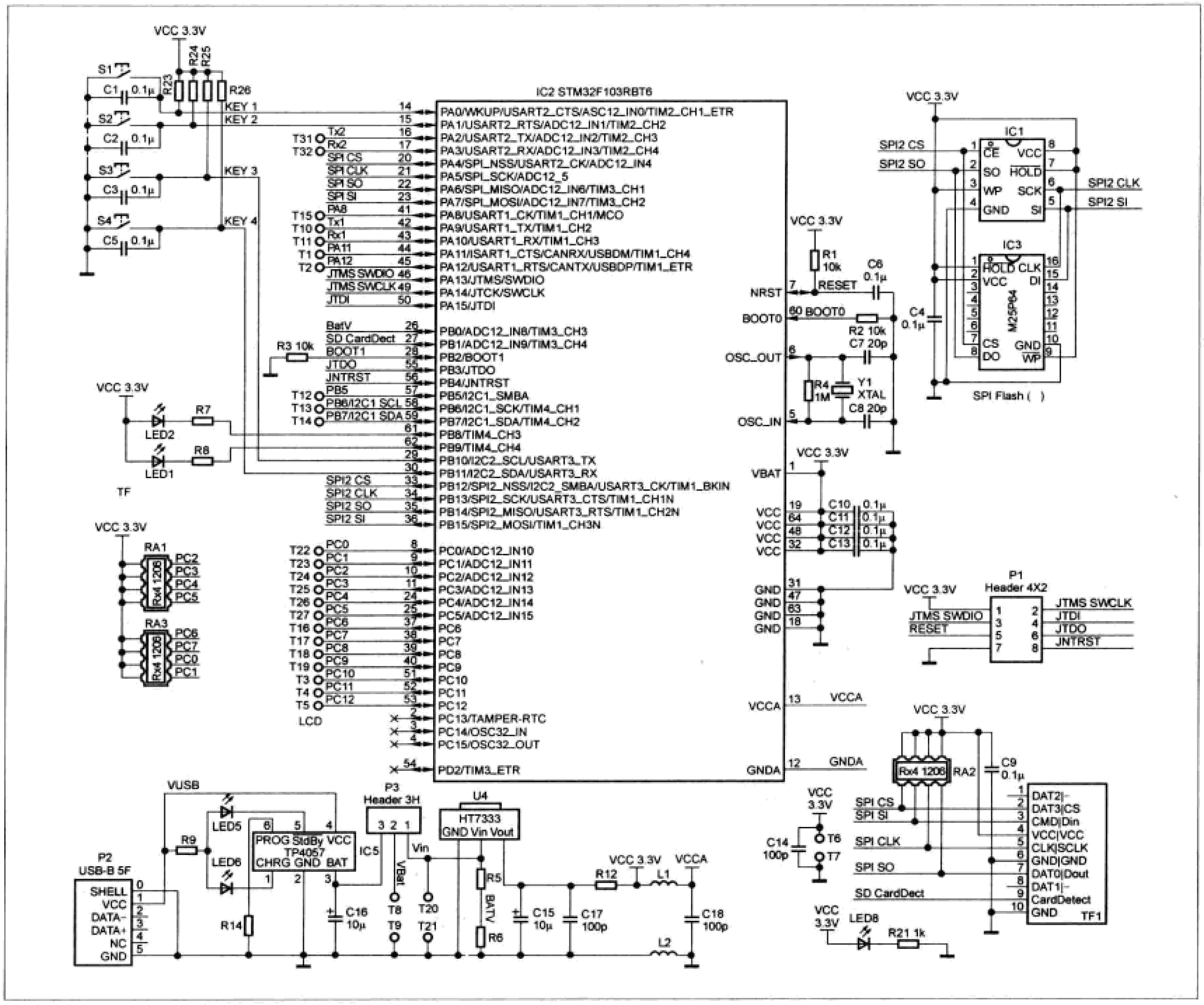


图3 GPS记录器的PCB原理图

据框图设计出的PCB原理图。

绘制PCB

根据液晶显示屏的尺寸，确定了主控板的大小。元件不多，所以PCB尺寸只有显示屏的1/2左右。

焊接元件和PCB板调试

笔者的习惯是焊接完一部分立刻检测该部分是否能正常工作，这样可以尽早发现问题并快速判断出问题源。

在焊接之前，目测一下板子是否有断路或短路的情况，然后用万用表测量电源正负极之间是否短路。

表1 制作所需原材料和元器件

主要元件	数量	简介
STM32F103RBT6	1	ST产STM32系列，基于ARM Cortex-M3内核，128KB Flash，16KB RAM
晶体振荡器	1	8MHz
GPS接收模块	1	C3-370C，采用SiRFstar III代芯片，串口输出NMEA协议数据
SPI Flash	1	Winbond产的 WX25Q16，容量2MB
TF卡及卡座	1	
LCD	1	分辨率160×100，4灰度，驱动IC为EPSON S1D15E06
电池	1	3.7V锂电池（带过充过放保护电路）
HT7333	1	3.3V LDO（低压差线性稳压器）
TP4057	1	锂电池充电管理IC

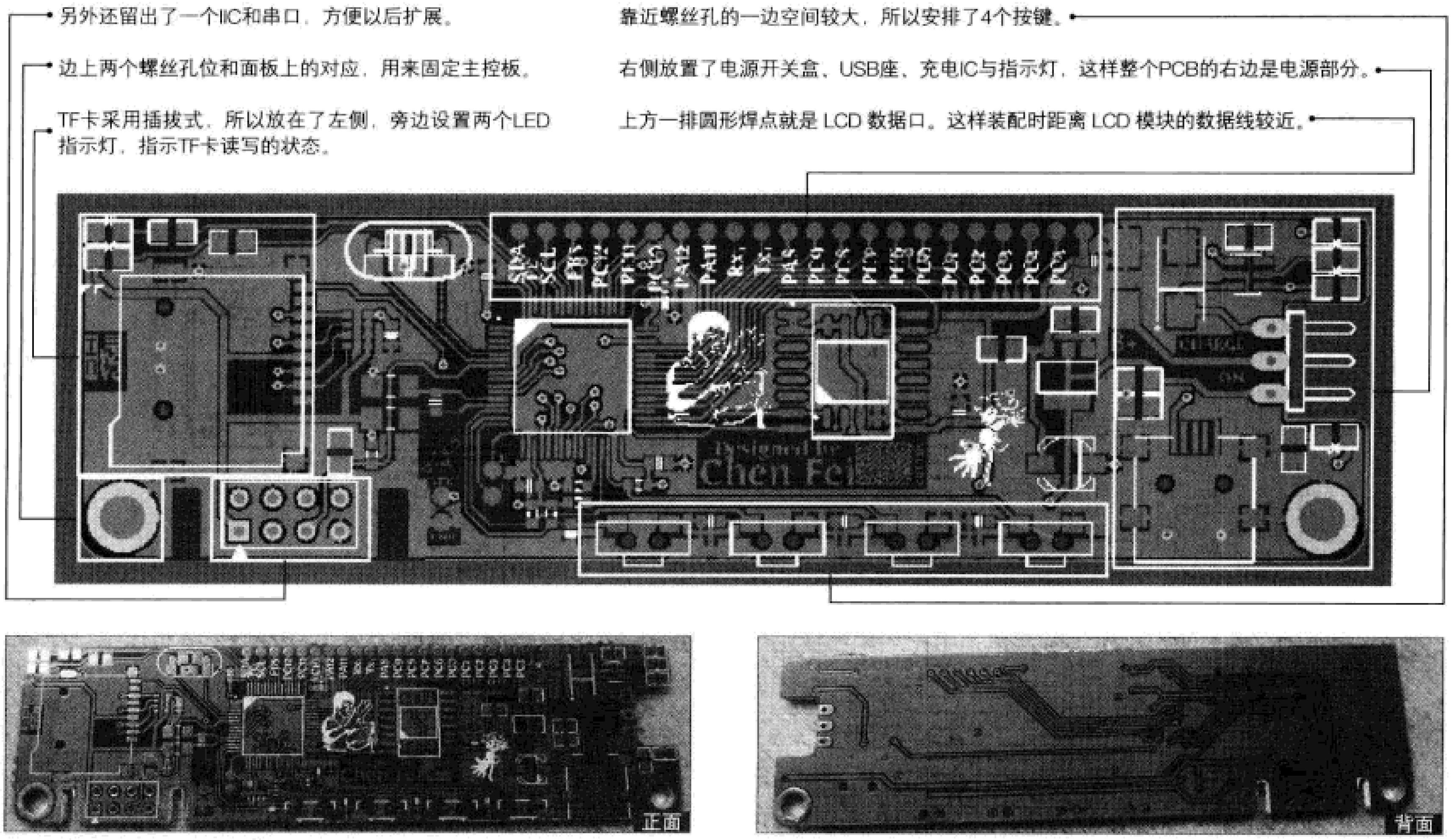


图4 制作完成的PCB图与实物

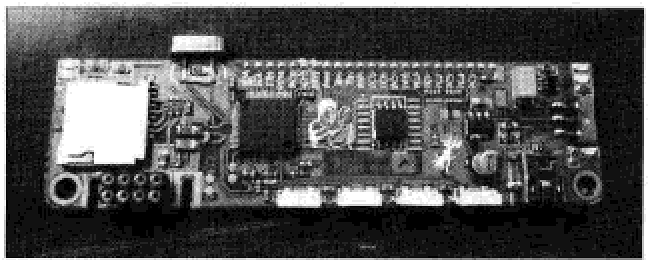


图5 焊接完元件的PCB

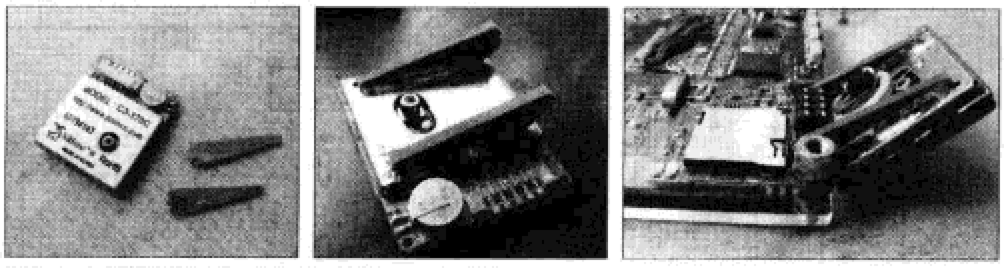


图6 GPS模块通过支架来安装，电池也加以更换

首先焊接电源部分，将USB座、LDO稳压管和充电芯片及阻容元件焊上，然后供电，测量输出是否为3.3V，有条件的话，还可以接在示波器上看看输出的电压是否纯净。

在LDO输出和整版的供电之间，笔者增加了一个0Ω的电阻，这个电阻可作为跳线使用，断开后可以检测芯片部分是否有短路等情况，调试完成后可直接短接导通。

电源部分完成后，接下来焊接单片机和外围的晶振、复位电路，组成最小系统。要判断单片机是否能运行起来，可以将板上的两个LED也装上，然后编写一个测试程序，循环点亮和熄灭，如果成功，则表明单片机基本正常。

最后焊接Flash芯片、TF卡座、按键等。

至此，原来的空PCB已经比较像一块电路板了，如图5所示。

一般来说，使用陶瓷天线的GPS模块需要尽量使天线面向天空，这样才能尽可能地接收信号，所以安装GPS模块的时候设计了一个支架，使得模块天线与接收器成45度角，平时手持的时候刚好面向天空，即使平放或立着放都能部分面向天空，如图6所示。另外，还为模块换了一个备用电池。

全部元件组装完成后的样子如图7所示。装上电池和后盖，如图8所示，硬件装配至此就完成了。

软件设计思路与调试

由于功能简单，软件不需要复杂的结构，流程如图9所示。开机初始化完成后，系统便进入无限主循环中，循环检查GPS是否接收完毕，是否有按键按下。

GPS接收和解析使用了中断，当接收完成后，设置标志位，

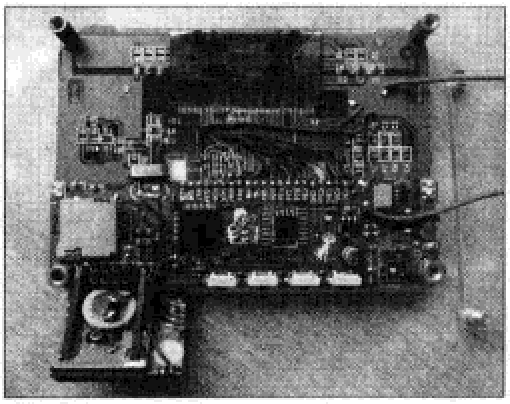


图7 全部元件组装完毕的样子

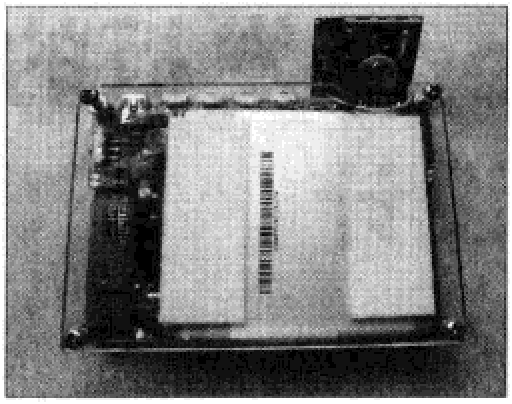


图8 装上电池和后盖

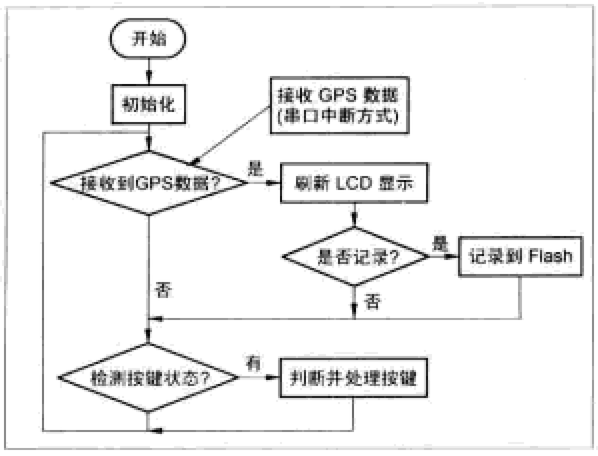


图9 软件流程框图

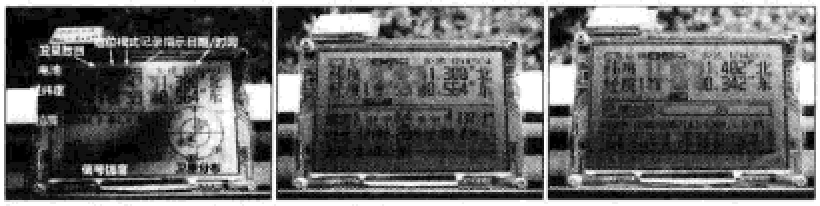


图10 显示屏下半部具备3种显示模式

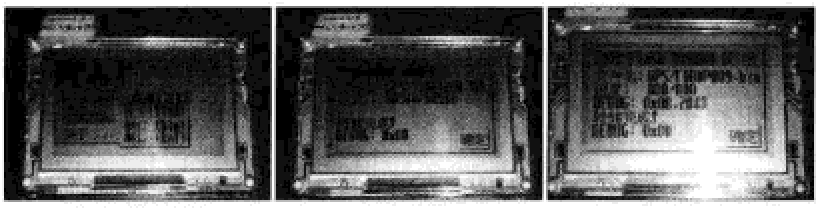


图11 将数据存储到TF卡中

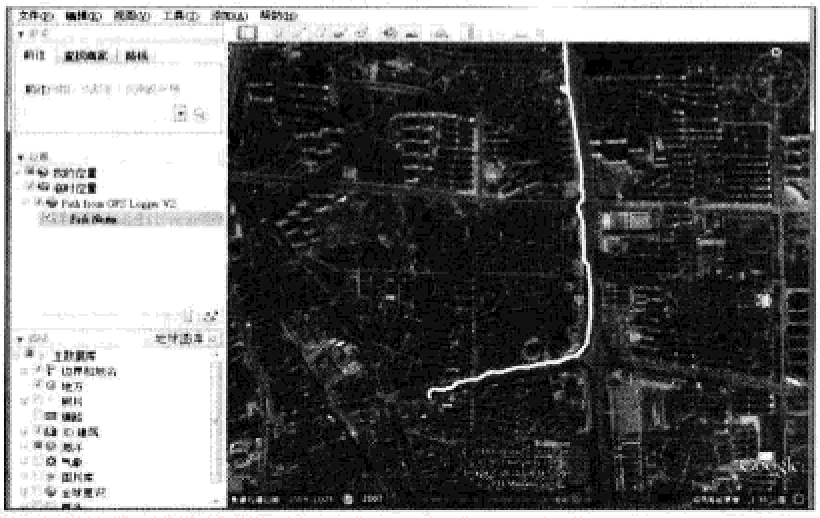


图13 GPS记录器记录下的路径可在Google Earth中显示

图14 实时浏览存储器中记录的路径和记录点的信息

图15 擦除记录

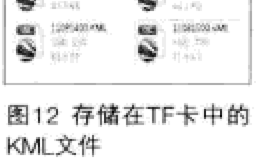


图12 存储在TF卡中的KML文件

主循环检测到数据接收完成，便将数据显示在LCD上，如果设置需要记录，则再记录到SPI Flash中。

如果“菜单”按键被按下，则转到菜单函数；如果“显示模式”按键被按下，则切换显示模式，如果“记录”按键被按下，则切换是否记录到SPI Flash中。

操作方式和界面

记录器上部有4个按钮，用途分别为 “菜单/退出”、“上一个/显示模式”、“下一个/记录模式”、“确定”。

常规显示时屏幕分为3个区域，顶部显示电池电量、卫星信息、时间等，中间用大字体显示当前经纬度，下半屏则根据显示模式分别显示卫星信息、速度航向和记录信息3种模式。按“显示模式”按键可以在3种模式中循环切换，如图10所示。

按“记录模式”键可以切换记录开始和停止模式。按“菜单”键可进入功能菜单。选择“菜单→转储→TF卡（KML）”可将存储器中的数据以KML文件的格式转存到TF卡中，如图11所示。选择“菜单→转储→TF卡（转储）”可将存储器中的数据以原始二进制格式存到TF卡中。

转储之后，在TF卡的GPS目录中就会有已经生成好的KML文件，如果装了 Google Earth，就会出现如图12所示的图标。

直接双击之后会自动打开 Google Earth，黄色的连线就是我们记录下的路径，如图13所示。

选择“菜单→浏览记录”可以实时浏览存储器中记录的路径和记录点的信息，并能直观地了解存储器空间使用情况，如图14所示。选择“菜单→擦除空间”，可将数据擦除，继续记录，如图15所示。

后记

其实市场上早已有产品化的的GPS记录器，而且成本更低、功能更强，但是DIY的乐趣在于更深地了解其中的原理，以及发挥自己的想象力，根据自己的需要定制。比如，还是这套硬件，通过修改软件，还能实现GPS测面积的功能。

基于Propeller开发板的手势识别系统设计

◎刘毅男

上期我们介绍了8核心微控制器Propeller开发板的制作，本期就来应用这个开发板、HQ7001数字3轴加速度测量模块以及由第三方开发的Propeller编译软件ViewPort，设计制作一个手势识别的硬件系统。该系统能够测量手势动作，通过ViewPort软件的数字存储示波器功能，实时地观测3个轴向的加速度变化，读取3轴加速度信息，进而判别动作指令。该系统可作为一个独立模块应用于广大电子爱好者自己的电子系统中，例如，用它来控制机器人的前进、后退等动作，或者通过自定义的某些手势动作实现某些开关量的控制等，具体应用还希望大家发挥各自所长，共同开发。

HQ7001数字3轴加速度测量模块是笔者从网上购买的，这是一款基于3轴加速度传感器LIS3LV02DQ的通用加速度模块。该模块包含了LIS3LV02DQ芯片以及外围必需电路，并对应用接口进行了扩展以方便用户连接，模块如图1所示。

LIS3LV02DQ是意法半导体公司的新型3轴电容式的数字低压微加速度计，它由一个感应单元和接口单元组成。感应单元由3个桥式电容以及放大、A/D采样测量电路组成，完成作用在XYZ这3个轴向的加速度测量。接口单元提供 I^2C 或SPI串行总线，控制器通过总线配置器件测量参数，同时获取测量的加速度。LIS3LV02DQ芯片封装示意图如图2所示，具体模块说明大家可以参看HQ7001的技术文档。

系统实际连接如图3所示。HQ7001数字3轴加速度模块共有10个扩展引脚，引脚1是3.3V电源输入，引脚3是使能CS，默认为高电平，引脚5是I/O电源输入，以上3个引脚都与Propeller开发板的3.3V电源引脚相连接。引脚7是I^2C总线的数据线SDA，与Propeller开发板的引脚P7连接。引脚8是I^2C总线的时钟线SCL，与引脚P6连接。引脚9是公共地，与Propeller开发板的GND引脚连接。Propeller开发板通过USB接口与上位机PC连接。

系统的软件设计主要完成对Propeller微控制器内部资源的分配与设置、系统初始化、对前端数字3轴加速度传感器LIS3LV02DQ芯片的配置、*x*/*y*/*z*轴加速度数据的读取、与上位机（PC）的数据通信，以及与ViewPort软件实时交互信息等功能，软件流程图如图4所示。

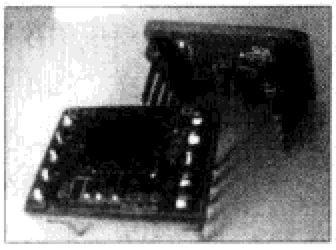


图1 HQ7001数字3轴加速度测量模块

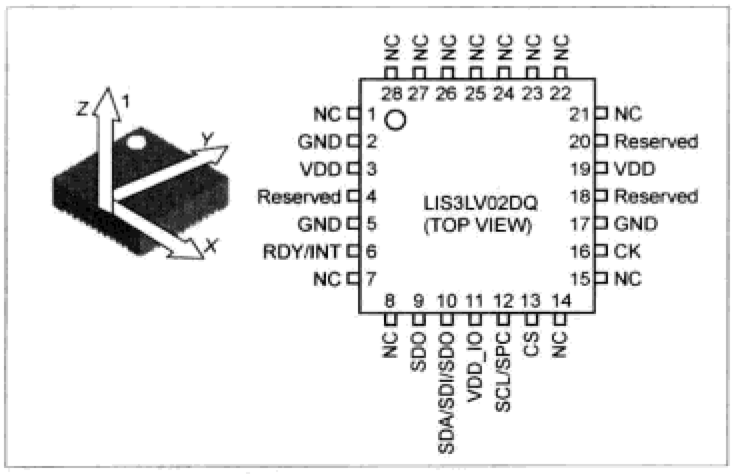


图2 LIS3LV02DQ芯片封装示意图

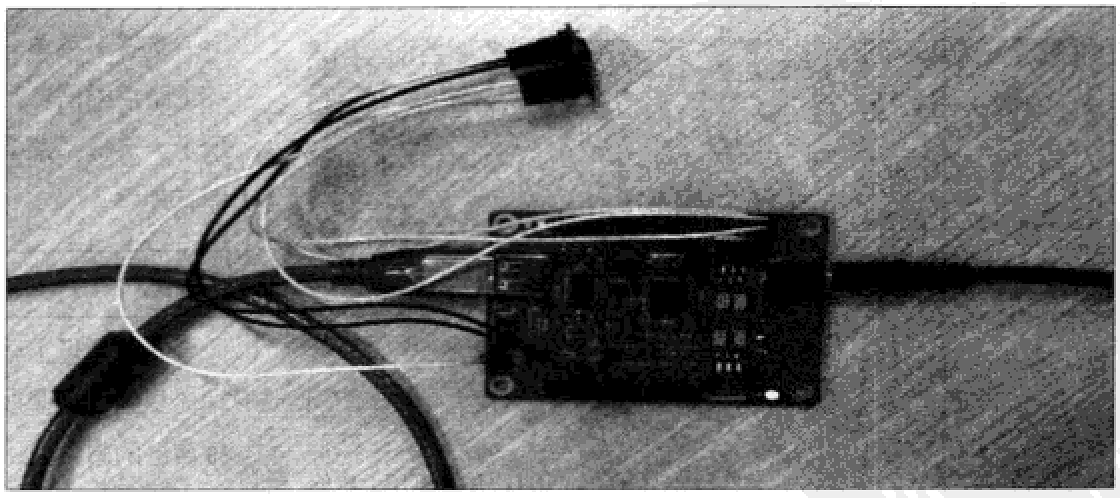


图3 系统连接图

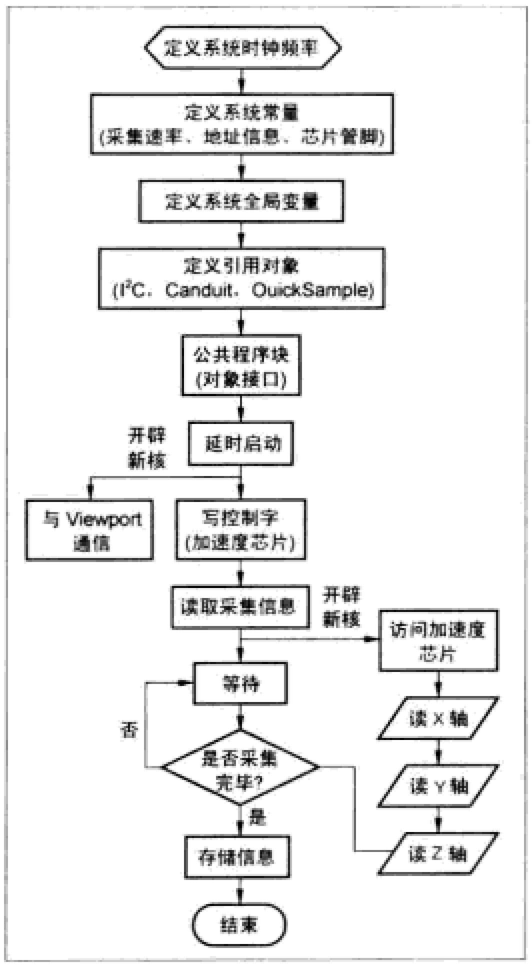


图4 软件流程图

系统的关键配置与程序模块说明

1. Propeller微控制器的配置

系统共占用Propeller微控制器内部的3个"Cog"。

Cog1：完成ViewPort软件对芯片的实时监控管理与数据交互功能。

Cog2：完成系统主程序。

Cog3：完成对数字3轴加速度传感器LIS3LV02DQ芯片的配置及XYZ轴加速度数据的读取。

芯片初始化配置如下：

（1）配置芯片内部资源

```
con
_clkmode = xtal1 + pll16x    '设置芯片时钟为16倍频
_xinfreq = 5_000_000    '设置外部时钟源为5MHz
msec=80_000
biasUpdate=80_000_000/50 '20ms    '系统采样时间为20ms
ACC3D_Addr = %0011_1010    '加速度芯片地址
accelSCLP=6    '加速度芯片SCL 管脚P6
accelSDAP=7    '加速度芯片SDA 管脚P7
```

（2）声明主程序调用对象

```
OBJ
i2c: "i2cObject"    'I²C总线通信子程序
vp : "Conduit"    'ViewPort软件配置子程序
qs:  "QuickSample"    'ViewPort软件配置子程序
```

（3）声明与ViewPort软件的共享变量

```
VAR
  long accel_x,accel_y,accel_z,Etilt,bias    '加速度信息
  long frame[406]
```

2. 加速度传感器配置

系统通过I²C总线通信子程序写入加速度传感器的控制字：

```
Pub updateBias|a,b,c,ncnt    '建立变量a、b、c
a:=i2c.Init(accelSDAP, accelSCLP, true)  'true
if ok    '定义变量a
i2c.writeLocation(ACC3D_Addr,$20,%1101_0111 ,8,8)    '上电，通电频率为160Hz，不进行自检，应用于3轴
i2c.writeLocation(ACC3D_Addr,$21,%0010_0000 ,8,8)  '量程为2g，连续跟踪，big endian模式，12字节模式
i2c.writeLocation(ACC3D_Addr,$22,%0000_0000 ,8,8)  '无滤波
```

3. 通信模块

通信模块利用I²C通信协议程序来协调并实现数据的顺利传输，它由以下几个程序模块组成：

Init	设置地址和初始化子对象
Stop	停止对象
Start	启动对象
getError	获取错误标志
clearError	清除错误
isStarted	返回真/假的对象启动状态
testBus	测试总线
devicePresent	发送信息，查找ACK设备
readLocation	读地址功能函数
writeLocation	写地址功能函数
i2cStart	执行I²C总线开始
i2cStop	执行I²C总线停止
i2cRead	执行I²C总线读
i2cWrite	执行I²C总线写

4. 加速度信息采集与存储

加速度信息的采集主要是通过加速度控制芯片感应物体加速度的变化，利用I²C总线通信子程序来读入加速度传感器各个轴的状态。

```
repeat
a:=i2c.readLocation(ACC3D_Addr,$28,8,8)<<8+i2c.readLocation(ACC3D_Addr,$29,8,8)    '读出X轴加速度输出信息
  if a>32000
    accel_x:=800*(a-65536)
  else
  accel:_x=800*a  '换算所得的X轴加速度值
i2cWrite(accel_x,16)  '存储X轴加速度信息
b:=i2c.readLocation(ACC3D_Addr,$2a,8,8)<<8+i2c.readLocation(ACC3D_Addr,$2b,8,8)    '读出Y轴加速度输出信息
  if b>32000
    accel_y:=800*(b-65536)
  else
    accel_y:=800*b    '换算所得的Y轴加速度值
i2cWrite(accel_y,16)    '存储Y轴加速度信息
c:=i2c.readLocation(ACC3D_Addr,$2c,8,8)<<8+i2c.readLocation(ACC3D_Addr,$2d,8,8)    '读出Z轴加速度输出信息
  if c>32000
    accel_z:=800*(c-65536)
  else
    accel_z:=800*c    '换算所得的Z轴加速度值
i2cWrite(accel_z,16)    '存储Z轴加速度信息
```

应用ViewPort的数字存储示波器进行实时数据观测

系统应用ViewPort软件的数字存储示波器（DSO）对采集加速度数据进行实时观测，ViewPort数字存储示波器的界面如图5所示。

波形显示界面中的3条曲线分别显示3个轴向的实时加速度信息，由上至下分别表示X轴、Y轴和Z轴，3条水平实线分别表示3个轴向的横轴，水平坐标是时间量，单位时间为s，纵坐标是加速度幅值，左侧纵坐标是X轴的加速度幅值，而

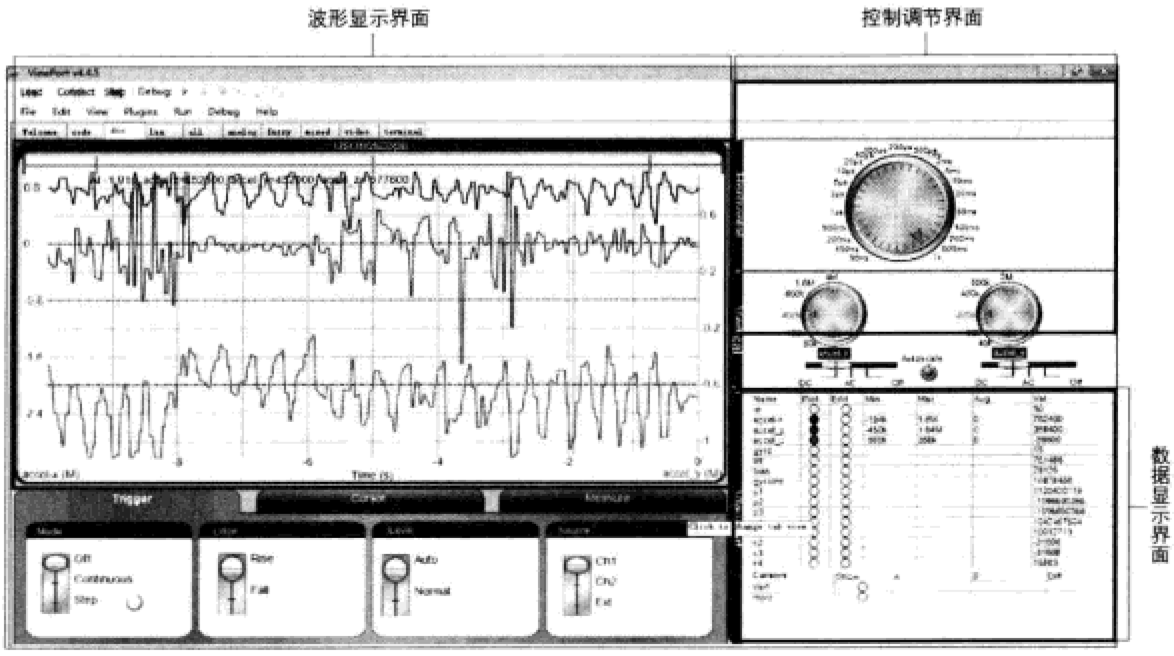


图5 ViewPort数字存储示波器界面

右侧纵坐标是Y轴的加速度幅值。

控制调节界面最上面的控制旋钮可以控制调节波形显示水平坐标轴的单位坐标量大小。根据波形显示情况，由鼠标拖动控制旋钮选择单位时间大小，旋钮最大值为1s，最小值为50ns。下面的两个控制旋钮可调节波形显示的纵轴控制旋钮，左边的旋钮控制X轴的单位幅值量，范围大小是80k到4M，右边的旋钮控制Y轴的单位振幅量，范围大小是40k到2M，这两个旋钮可以用鼠标拖动设置，也可由软件本身根据采样值的幅度自行调节。以上几个旋钮均可以在程序运行时手动进行调节，方便波形的观测。

数据显示界面显示了程序中用户定义的想要实时观测到的变量值，笔者编写的这个程序主要观测变量就是3个轴向的加速度测量值，分别为界面中Name一栏的accel_x、accel_y和accel_z，其他变量值仅用于程序调试时观测使用。以accel_x显示为例，程序运行中采集到的最小值为 -194k，最大值为1.6M，瞬时值为762400，accel_y和accel_z显示与此一致。

可见，有了强大的ViewPort软件支持，Propeller控制器正是如虎添翼，编程使用起来非常方便。下面，笔者就为大家介绍一下系统在手势识别上的应用。

系统在手势识别上的应用

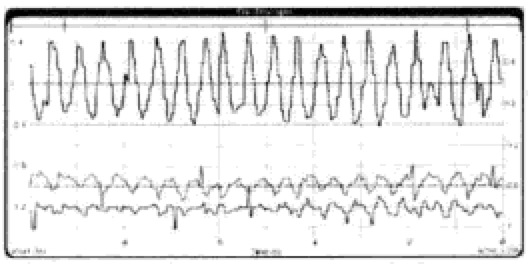
基于3轴加速度传感器的手势识别，首先要进行手势的设计。手势设计是为了使手势便于学习和推广应用，在设计手势动作时需要掌握两个原则：第一，手势应该容易被计算机识别，第二，手势的设计应尽量简单。

然后还要对设计出的手势进行手势分割。手势分割是根据三维空间中手势执行的特点，将完整的手势动作分割成若干手势单元。手势分割的原则是尽量保证每个手势单元都是不可再分的。执行手势动作若干次后，按照一定的采样率捕获手势执行过程中的加速度信息（x、y、z这3个轴向），这些加速度信息经过简单处理就可以用于手势模型优化和识别，进而根据手势执行程序设计。

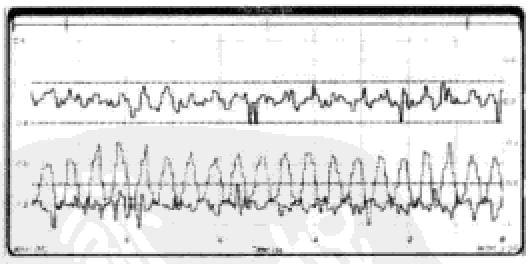
将HQ7001模块固定在手指上，在手势执行过程中，空间3个方向轴（x轴、y轴、z轴）都会产生加速度信息，而且由于手势动作的特殊性，手势在执行过程中，3个轴向的加速度值是不同的，会随着动作频率和幅度的不同而变化。图6分别显示了笔者自己设计的几个简单的手势动作重复执行若干次得到的结果。

读者可以通过研究手势动作的特点，设计自己的手势动作。将手势动作分割成若干手势单元，每个手势单元对应加速度曲线中独特的一段，再将这些手势单元进行组合，就可以得到各种更为复杂的手势动作。同样，根据所设计手势单元的采样数据编写自己的数据分析程序，识别各个特殊的手势单元，进而组合，可以完成复杂手势动作的识别，执行不同程序。

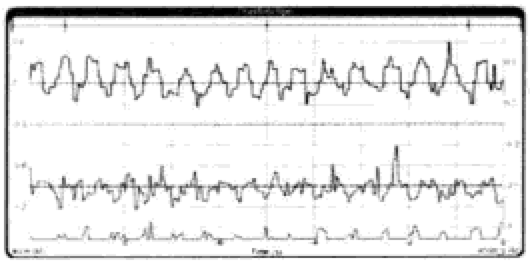
以上就是笔者为大家带来的基于Propeller开发板的手势识别系统，这是笔者对Propeller控制器和ViewPort编译软件的第一次尝试应用，在程序编写与调试过程中，笔者充分感受到了两者的强大与便捷，希望读者朋友们也赶紧加入笔者的队伍，共同体验Propeller带给我们的乐趣吧！



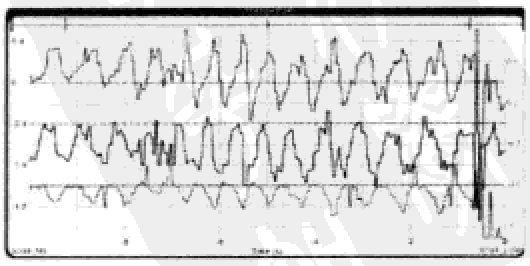
水平左右（X轴向）摇晃



水平前后（Y轴向）摇晃

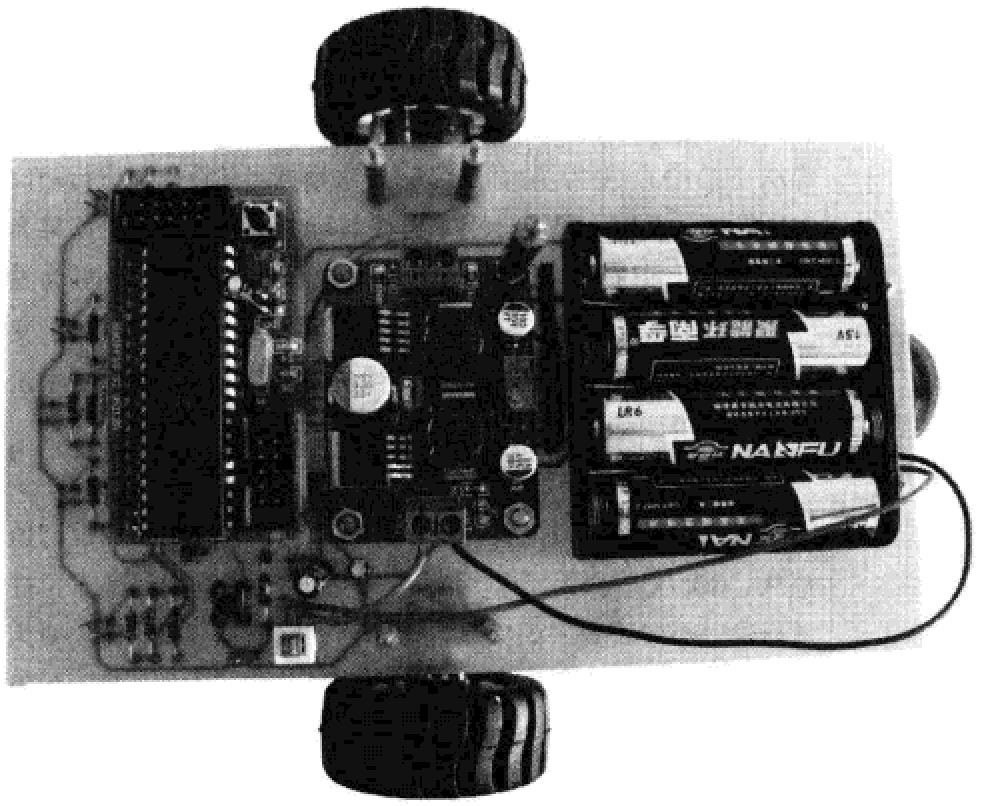


水平画圆



竖直画圆

图6 几个简单手势动作重复执行若干次的结果



◎蒋瑞挺

走迷宫小车的原理与设计

走迷宫小车，又称“电脑鼠”，是使用嵌入式微控制器、传感器和机电运动部件构成的一种智能行走装置。它可以在“迷宫”中自动记忆和选择路径，寻找出口，最终到达所设定的目的地。国际电工和电子工程学会（IEEE）每年都要举办一次国际性的电脑鼠走迷宫竞赛，来自全球的各种各样的走迷宫小车会进行同场竞技。本文要介绍的是小车走迷宫的原理以及如何DIY低成本走迷宫小车。

目前有一些竞赛专用的走迷宫小车成品在市面上销售，这类小车虽然性能卓越，但是价格昂贵。本文介绍一种简单的低成本走迷宫小车的制作方法。该小车以黑色引导线组成迷宫，使用光电寻迹的方式行进。虽然与传统意义的走迷宫小车有很大区别，但是很适合用来学习小车走迷宫的原理，为正式比赛奠定基础。

走迷宫原理

小车在迷宫里做第一次行走时，采用左手法则，即遇到十字路口，如果可以左转即左转，否则就按常规处理，其行走路径如图1所示。从图1中可以看出，小车在行进过程中绕了很多弯路，最短的行走路径应该如图2所示。走迷宫小车具有自动寻优的功能，即在第一次沿图1的路径走完迷宫后，能够自动计算出图2的最佳走迷宫路径，从而在后面几次以最短的时间走出迷宫。

1. 路口识别与处理

走迷宫小车首先要实现的是对各类路口的识别及处理。根据形状不同，路口大致可以分成如图3所示的8种类型。

（1）左转路口与直行或左转路口

当遇到左转路口与直行或左转路口时，光电传感器返回值

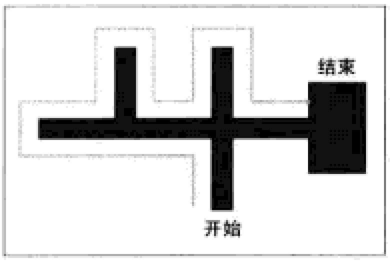


图1 左手法则行走路径

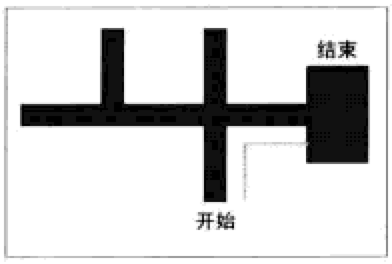


图2 最短行走路径

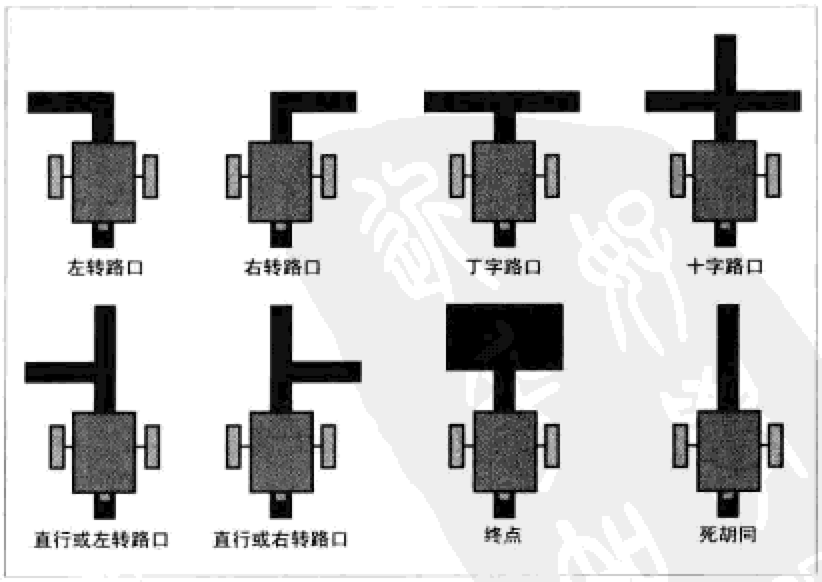


图3 路口类型

表1　路口类型识别、处理方法

光电传感器返回值变化		路口类型识别	处理方法
最初	小车再往前行进一小段距离后		
00100→11100	11100→00000	左转路口	左转
	11100→00100	直行或左转路口	左转
00100→00111	00111→00000	右转路口	右转
	00111→00100	直行或右转路口	直行
00100→11111	11111→00000	丁字路口	左转
	11111→00100	十字路口	左转
	仍为11111	终点	停止行进
00100→00000	–	死胡同	调头行驶

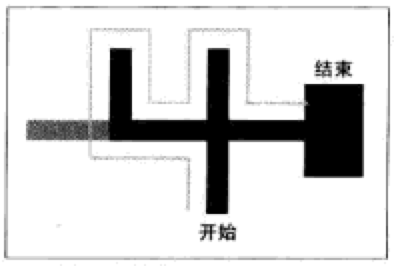


图4 第一次优化

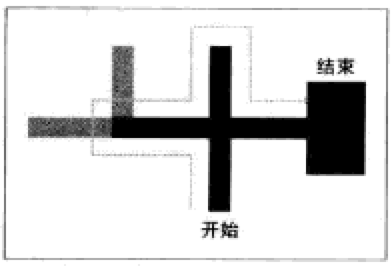


图5 第二次优化

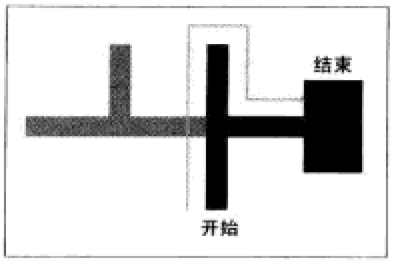


图6 第三次优化

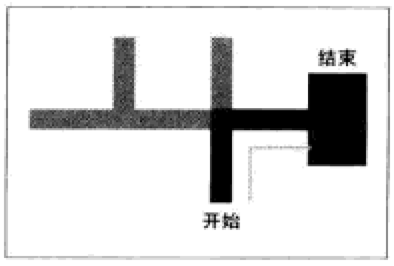


图7 第四次优化

都从“00100”变为“11100”，无法根据当前返回值进行路口类别判断。此时，需要让小车再往前行进一小段距离，如果光电传感器返回值从“11100”变为“00000”，则可以判断为左转路口，小车只能左转；如果光电传感器返回值从“11100”变为“00100”，则可以判断为直行或左转路口，小车根据左手法则，左转。

(2) 右转路口与直行或右转路口

当遇到右转路口与直行或右转路口时，光电传感器返回值都从“00100”变为“00111”。此时，同样需要让小车再往前行进一小段距离，如果光电传感器返回值从“00111”变为“00000”，则可以判断为右转路口，小车只能右转处理；如果光电传感器返回值从“00111”变为“00100”，则可以判断为直行或右转路口，小车根据左手法则，继续直行。

(3) 丁字路口、十字路口与终点

当遇到丁字路口、十字路口以及终点时，光电传感器返回值都从“00100”变为“11111”。此时，同样需要让小车再往前行进一小段距离，如果光电传感器返回值从“11111”变为“00000”，则可以判断为丁字路口，小车根据左手法则，左转；如果光电传感器返回值从“11111”变为“00100”，则可以判断为十字路口，小车根据左手法则，左转；如果光电传感器返回值仍为“11111”，则可以判断为终点，小车停止行进。

(4) 死胡同

当遇到死胡同时，光电传感器返回值从“00100”变为“00000”，此时小车需要调头行驶。

我们将以上光电传感器返回值变化和识别、处理方法归纳成一张表，如表1所示。

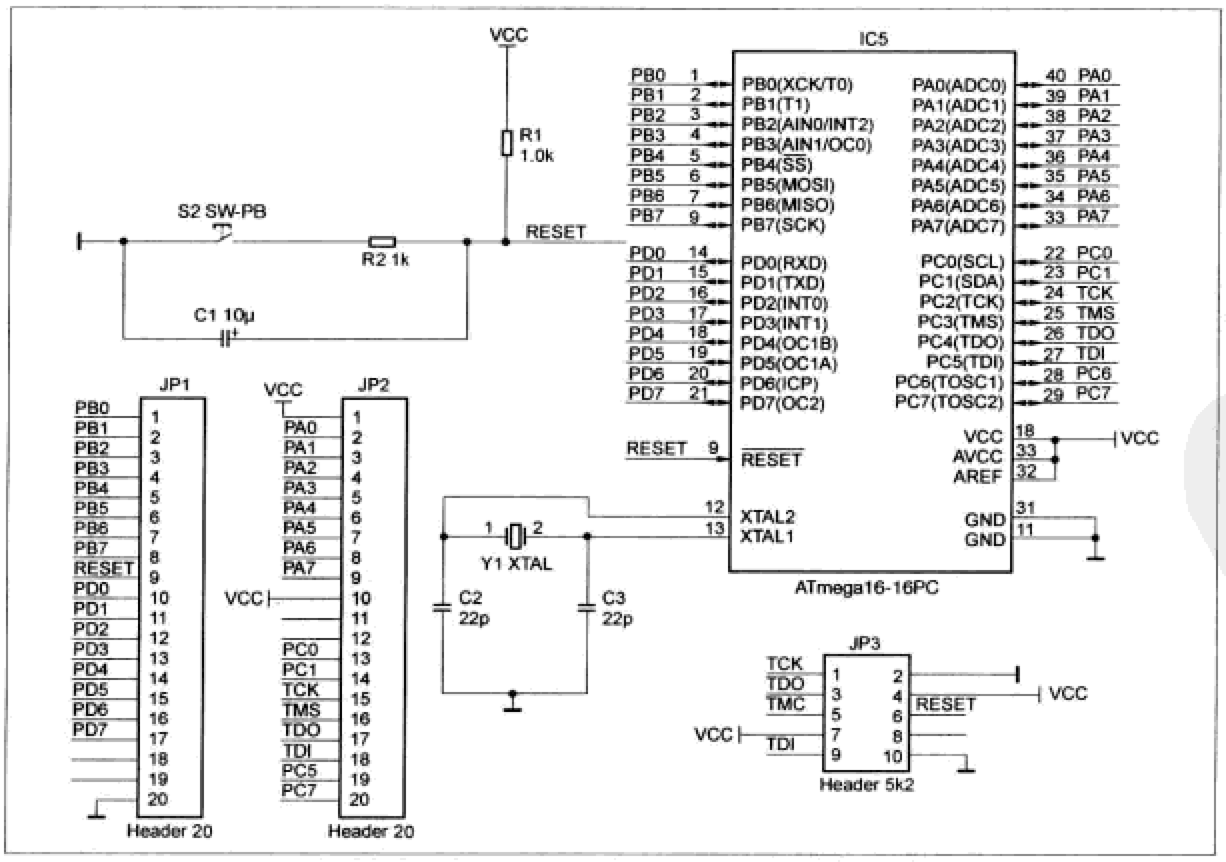


图8 ATmega16最小系统原理图

2. 路径优化算法

小车在第一次走迷宫时，遵循左手法则，始终能够走出迷宫。在这个过程中，小车会记录所走过路径的所有类别的路口，路径优化就是建立在这些路口记录上的。根据下文描述的算法即可计算出最优的行走路径。

这里，将小车行进方向以字母的方式进行记录，小车直行记为S，左转记为L，右转记为R，调头记为B。图1所示的行走路径可以使用字母记录如下：L+S+B+L+B+L+L+B+L。

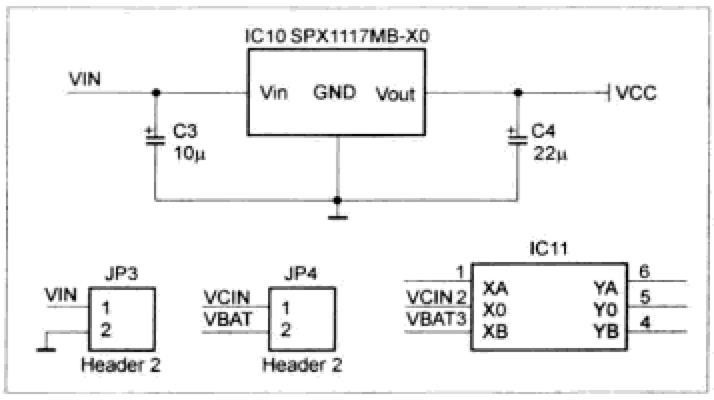


图9 电源管理模块原理图

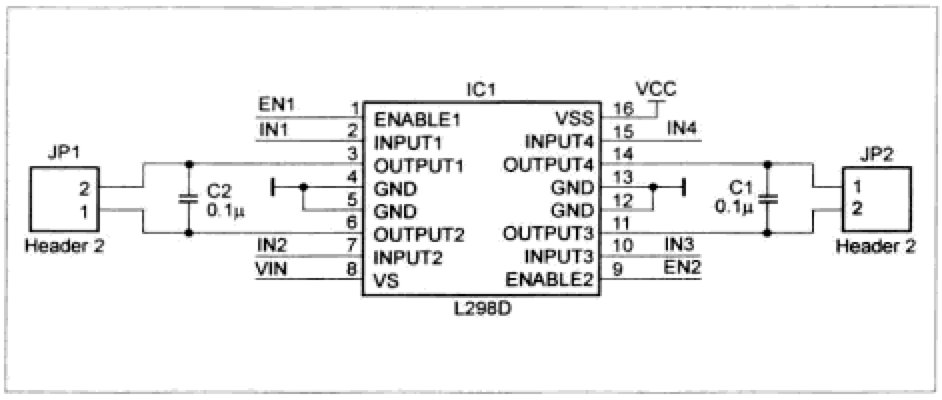


图10 电机驱动模块原理图

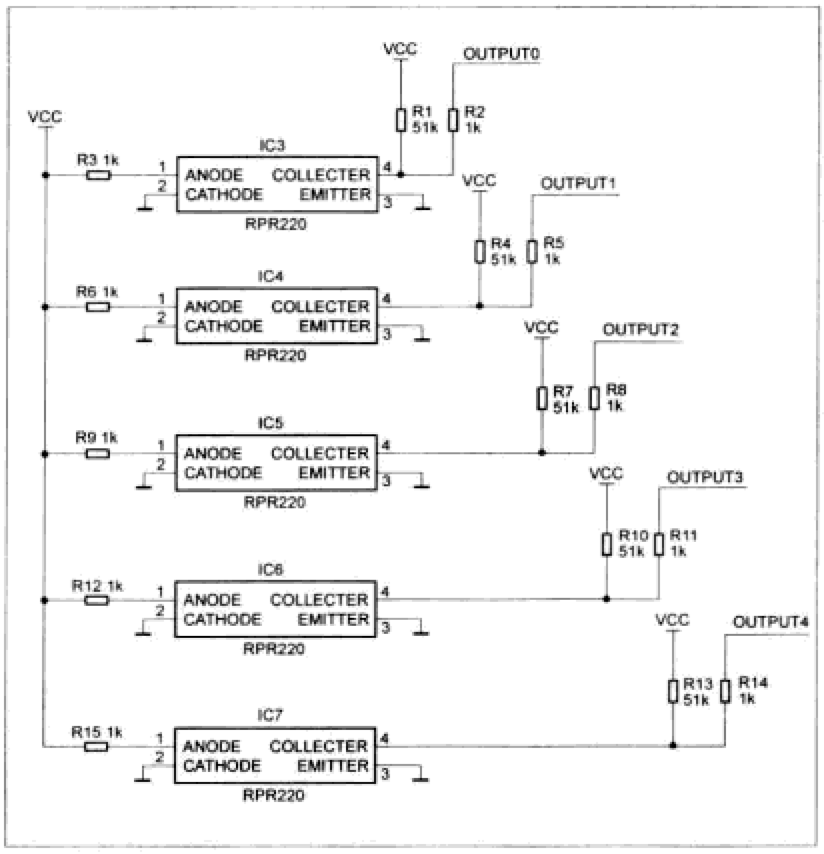


图11 红外光电对管模块原理图

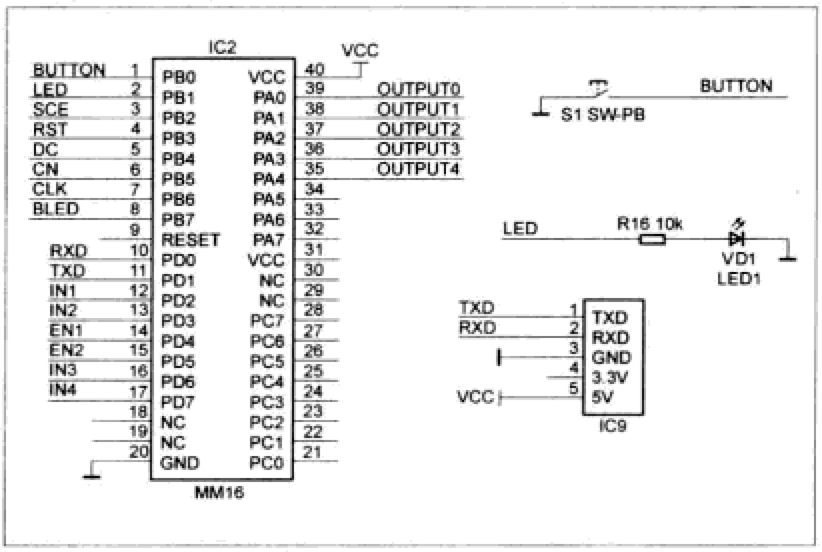


图12 主控制模块对外连接原理图

首先，遇到调头的情况，表明走了多余的路，需要进行优化。根据记录，第一个调头的前面是直行，后面是左转，按照如图4所示进行优化，将S+B+L直接变成R。那么行走路径记录就变成了L+R+B+L+L+B+L。

此时，第一个调头的前面是右转，后面是左转，如图5所示进行优化，将R+B+L直接变成B。行走路径记录就变成了L+B+L+B+L。

此时，第一个调头的前面是左转，后面也是左转，如图6所示进行优化，将L+B+L直接变成S，行走路径记录就变成了S+B+L。

最后，第一个调头的前面是直行，后面是左转，如图7所示进行优化，将S+B+L直接变成R，那么行走路径记录就变成了R。

图7所示即为最后优化的路径，与实际情况相符。通过以上的优化分析，最后可以得到3个优化公式：

S+B+L=R

R+B+L=B

L+B+L=S

在记录的路径中查找每个调头记录，根据上面这些公式进行优化，最终就可以得到最优路径。

硬件设计

主控制单元ATmega16是基于增强的AVR RISC结构的低功耗高性能8 位CMOS微控制器。该芯片采用单时钟周期指令，运行速度要比同类别单片机快得多，同时只需很少的外围电路就可以搭建最小系统。本设计采用的最小系统原理图如图8所示。

在最小系统模块的基础上，需要进行外围电路的扩展，包括电源管理模块、电机驱动模块、对外接口模块以及红外光电对管模块。

1. 电源管理模块

走迷宫小车采用4节电池（6V）供电，为了使小车在行驶的过程中保持恒定的工作电压，这里采用成品升压模块，先将输

入电压升压到7V，然后再使用如图9所示的降压电路降压到5V供单片机使用。电机则直接使用升压后的7V电源进行供电，以提高电机的转速。

2. 电机驱动模块

电机采用的是航模小电机N20，尺寸小，扭矩也小，需要配备减速齿轮增加扭矩。对电机的驱动，则采用直流电机驱动集成芯片L293D。该芯片可同时驱动两个电机，能够输出600mA的平均电流，同时支持输出1.2A的峰值电流。对于N20这样的小电机，使用L293D是完全符合要求的，其模块原理图如图10所示。

3. 红外光电对管模块

红外光电对管采用的是RPR220，由于将发射端跟接收端集成在一起，RPR220的收发性能要强于分离式的红外光电管。但是该对管的检测距离有限，一般距离地面不能超过6mm，否则会影响检测效果。本小车前端安装了5个光电对管，由于引导线的宽度为18mm，因此对管间距在20mm左右，并且为了方便检测岔路口，这些对管按照弧形排列。红外光电对管模块的原理图如图11所示。

4. 模块组装

为了方便调试，我们将串口通过插针引出，同时还采用了一个按键用于小车控制，一个LED用于状态显示。对外接口以及各模块与主控制模块的连接如图12所示。

软件设计

走迷宫小车至少需要走两次迷宫，第一次遵循左手法则，后面则根据计算出来的最优路径行驶，其软件总体流程如图13所示。根据左手法则走迷宫的流程如图14所示。按照最优路径走迷宫的流程与根据左手法则走迷宫的流程基本相同，只是将计算最优路径变换成读取最优路径，这里不再单独给出。

小车沿黑色引导线直行时，其控制方式采用PID控制。PID控制由比例单元P、积分单元I和微分单元D组成，通过K_p、K_i和K_d这3个参数的设定来实现对输出的调节，其计算公式如下：

$$u(n)=K_p\times e(n)+K_i\times\sum_{i=0}^{n}e(i)+K_d\times(e(n)-e(n-1))$$

其中K_p为比例参数、K_i为积分参数、K_d为微分参数、$e(n)$为当前偏差值、$e(n-1)$为上一个偏差值、$u(n)$为输出控制量。对于迷宫小车而言，输出控制量即两个电机的PWM值，输入偏差则由光电传感器获得。从传感器得到的是类似于“00100”这种二进制值，无法使用公式计算PWM。因此程序中将二进制值与整数值做了一个对应表，这样偏差与输出就可以通过上列公式

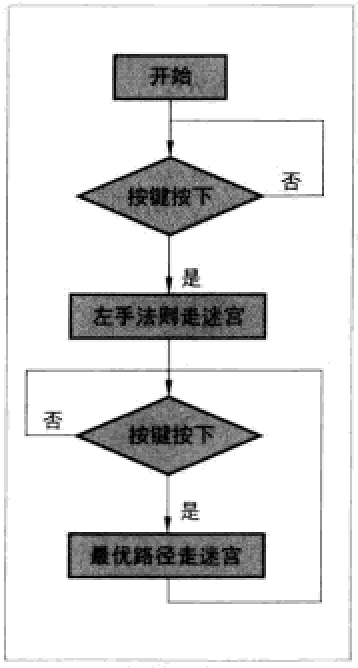


图13 软件总体流程图

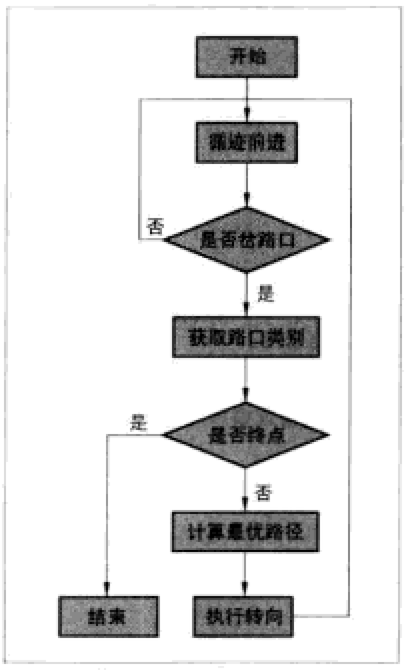


图14 左手法则走迷宫软件流程图

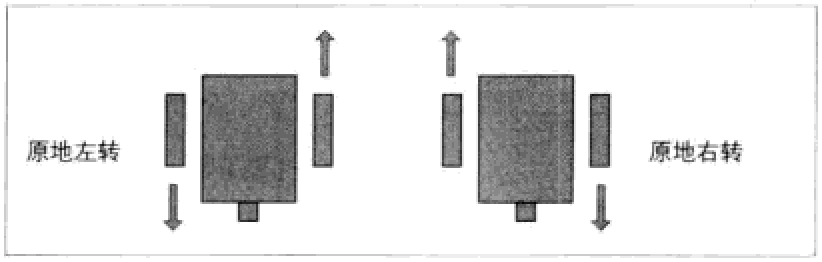


图15 原地旋转方向控制方法

建立关系。3个参数需要根据实际运行的效果做调整，最后确定一组合适的参数值。小车转向通过原地旋转一定的时间来实现，此时小车的左右轮方向控制方法如图15所示。当小车需要左转时，让其原地左转并等待一段时间后停止；需要右转时，让其原地右转并等待一段时间后停止，需要调头时，则让其原地右转并等待一段较长时间后停止。等待的时间需要通过实验来确定。

项目总结

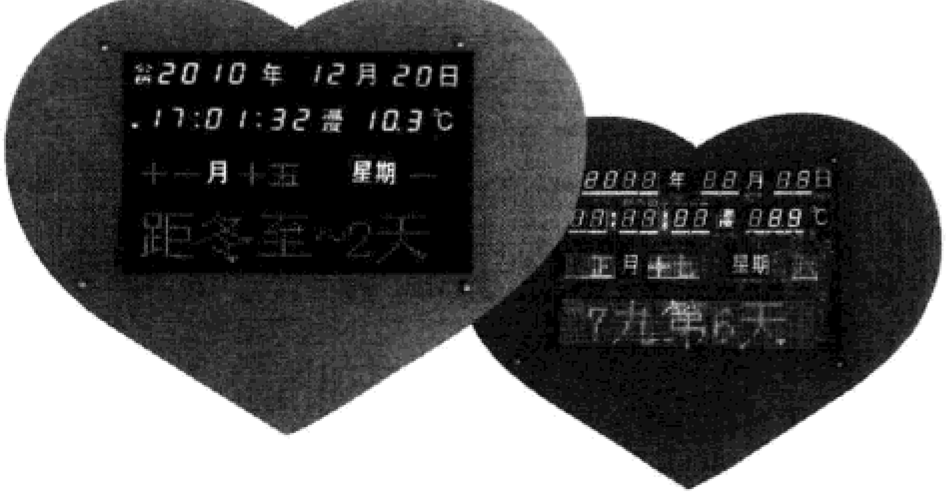
走迷宫小车是智能应用的典型例子，不仅需要单片机及编程知识，还涉及到算法求解的问题。本文所设计的走迷宫小车具备基本的走迷宫功能，当然只能用于由黑色引导线组成的任意迷宫。通过实验发现，这款走迷宫小车还有以下需要改进的地方：

1. 由于电机比较小，转速较低，因此走迷宫的速度较慢，距离实际竞赛的要求还有一定差距。通过加大电机驱动电压或者更换效率高的电机，可以解决这个问题，但是需要重新调整PID控制参数。

2. 小车车身比较大，转动不够灵活。这主要是因为电路板采用单面板设计，整板面积有点过大，可以通过设计成双面板的方式解决。

超级个性化万年历

◎王保国



目前市售的万年历千篇一律，不仅显示单一，而且农历、星期、节气的显示都不符合我国的习惯，因此我自制了一款万年历。除克服了上述弊病外，还增加了数九三伏的显示、十二生肖显示、个性化语音整点/半点报时、128个节日显示、节日来历解说、红外线遥控播出、家人生日/纪念日字幕滚动显示、歌曲播放、电话来电显示等功能。

电路原理

本电路以一片STC89C516RD作为核心，用市售的万年历芯片作为日历时间采集源，单片机的P0口接数码管段码，用3片74LS165采集位码，P1口和P3.7、P3.6做点阵屏驱动，P2.5~P2.7做SD卡播放控制，P3.3为红外线中断输入。本万年历设有节日来历解说功能，在节日当天8点和12点自动开启解说功能，另外在任何时刻都可以用任何红外遥控器，按任意键开启或关闭解说功能。P3.0~P3.2用作电话振铃和电话号码的串行输入，P3.0、P3.1兼做外部程序升级口，P2.3、P2.4为星期屏幕和大屏幕的双色转换，如需高精度温度显示，所有的正点、半点、节日来历、号码播报、名曲欣赏都储存在SD卡上，格式为WAV,可任意修改，完全个性化。线路板设有18B20温度探头接口电路，功能框图见图1。

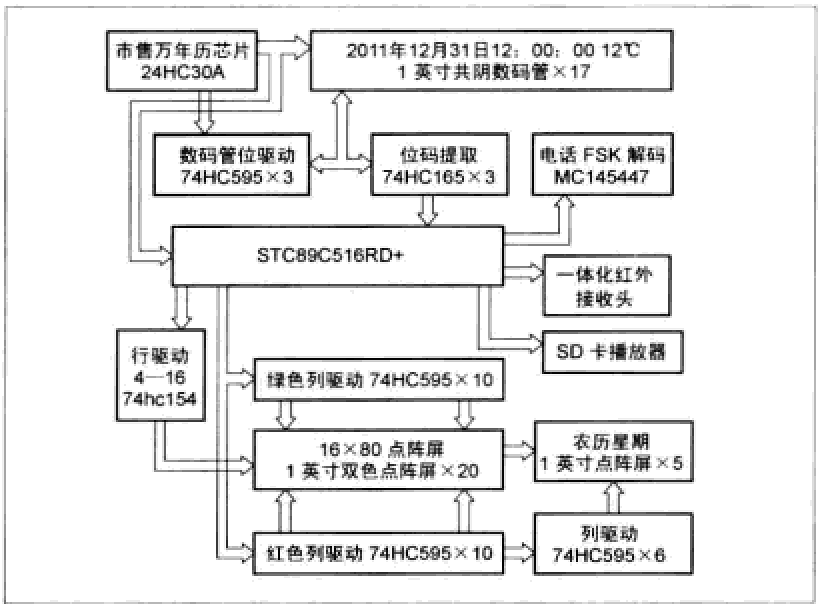


图1 超级个性万年历的功能框图

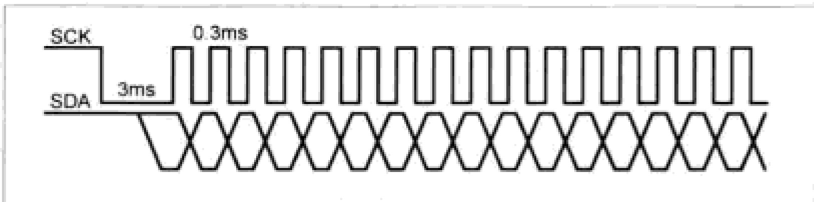


图2 SD卡播放模块的时序图

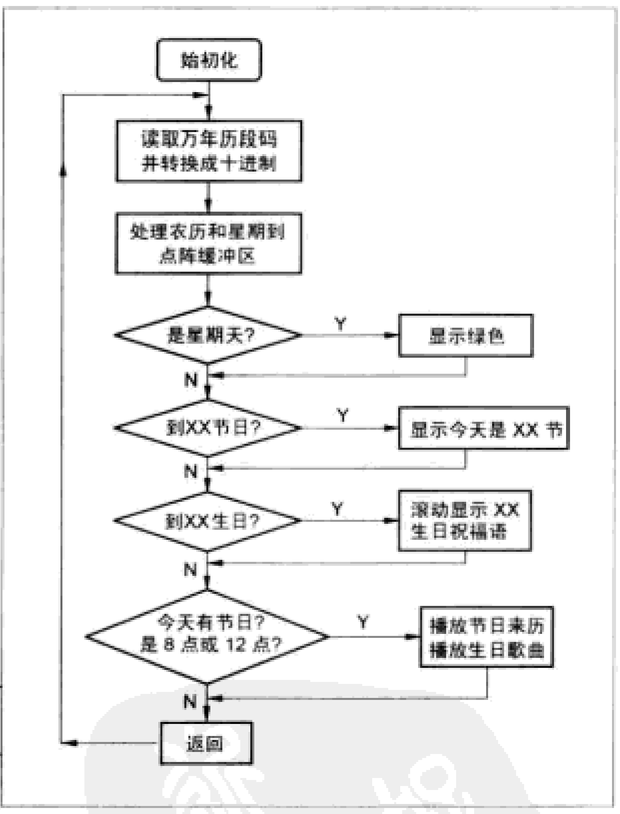


图3 程序流程图

软件设计

首先将万年历芯片数据读入单片机，储存于片内128个位寻址区。再将片内RAM E0H~FFH作为来电号码缓存区，将片外RAM 00H~FFH作为点阵屏显示缓存区。节日解说、整点报时用了一个SD卡播放模块，SD卡播放模块支持双线通信方式（类似I^2C通信SLAVE方式），分别为时钟线SCK和数据线SDA，一共发送16bit，从高位先开始发送，时序图如图2所示。

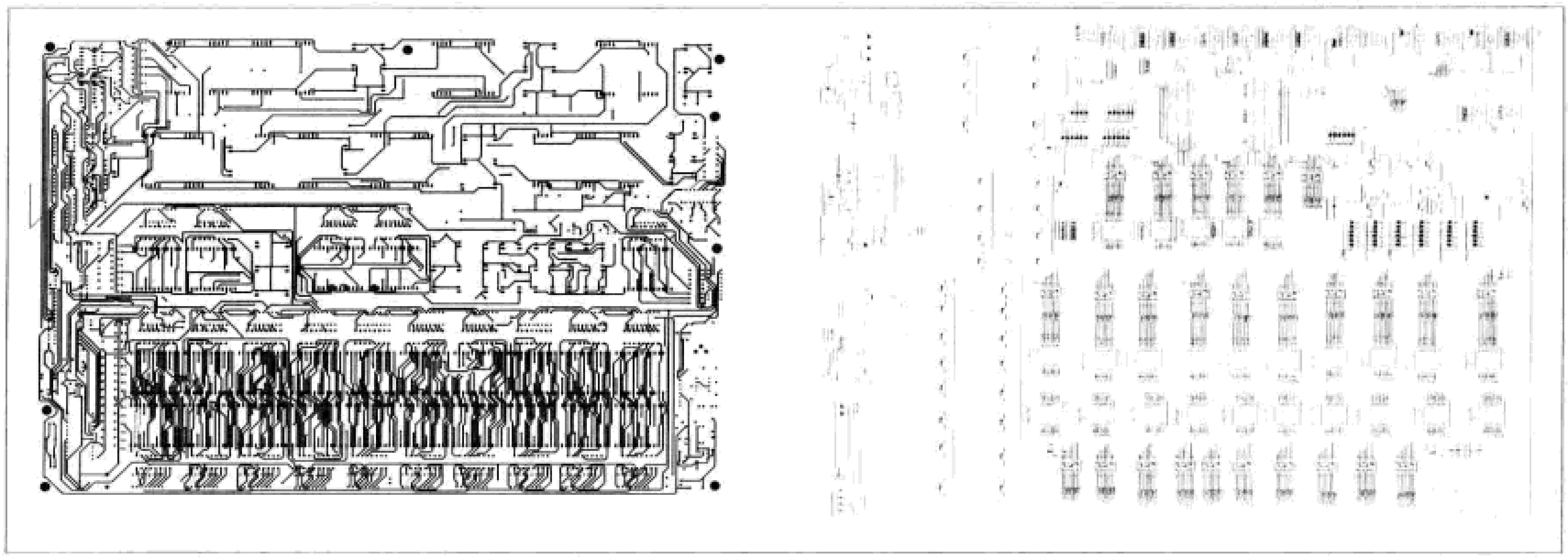


图4 顶层PCB图和缩小后的原理图，可以看出电路比较复杂

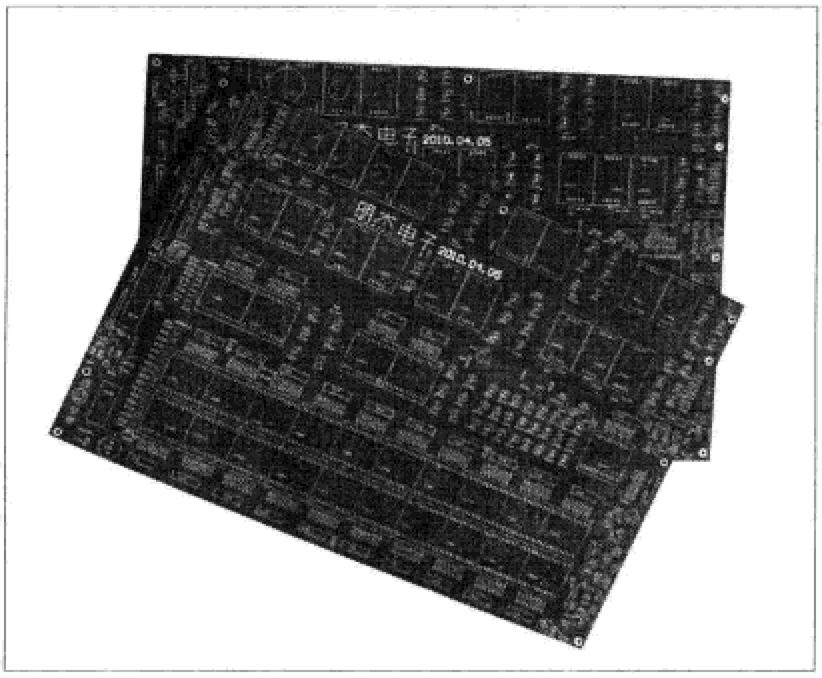


图5 已焊好的电路板

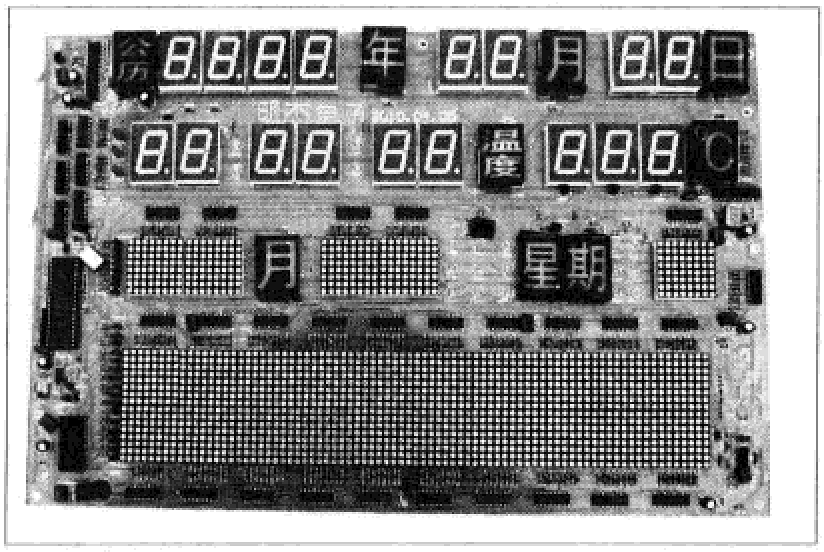


图6 电路板实物

单曲播放命令直接发送曲目的文件序号（4位10进制）编码即可。编码FFF0H~FFFFH为命令编码，其中FFF0H表示第1级音量，FFF1H表示第2级音量，FFF7H为第8级音量，也是最大音量。在默认条件下，播放时为最大音量。FFFEH表示暂停播放，暂停中再发一次就继续播放。FFFFH为停止播放。

整个程序的流程如图3所示。

元件选择

51单片机选用ROM为64KB的STC89C516RD+，数码管选用1英寸红色数码管，点阵屏选用0.8英寸双色数码管，其他元器件见电路图（图4为其示意图，由于原图较大、较复杂，限于篇幅就不刊登了，请从《无线电》杂志官方网站下载），图5是已焊好的电路板。需要说明的是，年、月、日、星期、温度、公历等为自制数码管，选用外形、尺寸和1英寸数码管相同的铝合金作为边框，用雕刻机在黑色不干胶纸刻上年、月、日等字样，用热熔胶将6个高亮绿色发光二极管封在其中即可，如图6所示。电源采用5V、1A的手机充电器电源。

后记

这款万年历是笔者初学51单片机的作品，程序设计得不够规范，没有形成模块化设计。笔者认为学习单片机首先要选择一个自己喜欢的题目。在本作品中，笔者初步掌握了顺序编程，完成初步工程，然后逐步加入功能（如用外部中断1实现电话振铃检测，用串口中断实现电话号码输入等），之后还学习了Protel 99 SE画图制板。本作品预留了P3.4~P3.7供以后升级之用，还有许多可开发之处，还希望大家加以完善。

■ 本文相关源程序可到《无线电》杂志官方网站www.radio.com.cn上下载

Arduino为什么这么红？

◎胡泊

相信对嵌入式开发感兴趣的朋友，最近一定不会对一个新名词感到陌生——Arduino。尤其对初学者来说，恐怕都听到过“嵌入式开发从哪里上手最好？Arduino！”这样的说法。那么Arduino到底是什么呢？是一种新的控制芯片，还是一种新的开发软件呢？

首先我们先看看Arduino的实物图，图1所示是最常见的一种Arduino实物。图中已经根据功能用线将各个模块区分出来，相信对单片机开发稍有了解的朋友一定已经发现，这不就是一个以AVR单片机最小系统为核心的控制板吗？

不错，Arduino就是以Atmel公司的AVR单片机为核心的单片机控制板，板上除了ATmega168最小系统电路外，还包含了稳压电路、USB转串口电路、一些指示用的LED，以及一些扩展用的电路插座。

仅仅一个单片机最小系统，为何能风靡全球呢？

下面我们以图表的形式来比较一下单片机裸机、市面上一般的单片机开发板和Arduino。

表1中列出了3种选择方案的最直观比较（表中没有比较购买渠道的便利性，随着网络购物的普及，这一点已经不再成为爱好者们需要特别关注的问题），看起来似乎Arduino并没有特别的优势，那么为什么Arduino会得到如此热度的追捧呢？

表1 ATmega168裸机、ATmega168开发板、Arduino的对比

	ATmega168裸机	ATmega168开发板	Arduino
运算性能	相同	相同	相同
成本	最低	较高	较低
体积	最小	较大	适中
自由度	最大	很多开发板集成了键盘、数码管、跳线开关等，占用了很多端口	除单片机正常运行所需占用的端口外，其他端口全部留给了用户使用
标准度	完全符合Atmel公司公布的芯片资料	大多由各个供应商自主开发，各不相同	完全符合Arduino组织公布的标准
工作条件	需要自己搭建最小电路	通过USB或COM端口与PC连接即可使用	通过USB线连上PC即可使用
开发资料	任何ATmega168资料皆可，但一些细节需与自己的电路配合	一般开发板供应商都会提供各种学习资料，但大多杂乱无章，需学习者自己甄别	英文资料丰富，目前中文资料略有欠缺

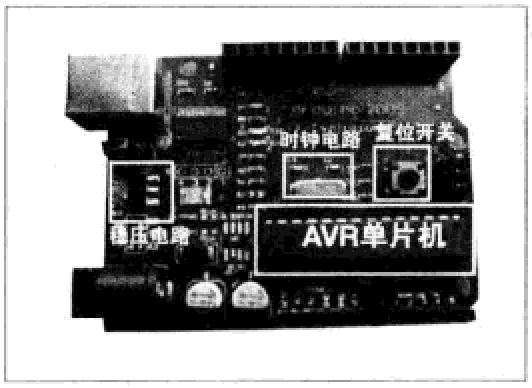


图1 最常见的一种Arduino实物

要回答这个问题，我们必须首先回顾一下Arduino的发展历程。2005年，意大利北部小镇伊夫雷亚（Ivrea）一家高科技设计学校的老师Massimo Banzi，为了能给学生们提供一种便宜好用的微控制器平台，与当时在这所学校做访问学者的西班牙籍芯片工程师David Cuartielles合作设计了最初的Arduino电路板。随后Arduino便开始迅速地在欧洲流行起来，并且逐渐将春风吹到了世界各地。

Arduino独有的优势

Arduino独有的几种优势表现在下列方面。

开放性：Arduino的硬件电路和软件开发环境都是完全开源的，在不从事商业用途的情况下，任何人都可以使用、修改和分发它。这样不但可以使用户更好地理解Arduino的电路原理，更可以根据自己的需要进行修改，比如由于空间的限制，需要设计异形的电路板，或是将自己的扩展电路与主控制电路设计到一起。

易用性：对于稍微有心的人，不论基础如何，只要他有兴趣，拿到Arduino之后的1个小时之内，应该就可以成功运行第一个简单的程序了。Arduino与PC的连接采用了当下最主流的USB连接，你可以像使用一个MP3一样，把Arduino与电脑直接连起来，而不需要再额外安装任何驱动程序。而且Arduino的开发环境软件也非常简单，一目了然的菜单仅提供了必要的工具栏，除去了一切可能会使初学者眼花缭乱

的元素，你甚至可以不阅读手册便实现代码的编译与下载（我可没说编写）。

交流性：对于初学者来说，交流与展示是非常能激发学习热情的途径。但有些时候，你用AVR做了个循迹小车，我用PIC做了个小车循迹，对单片机理解还不是特别深刻的初学者，交流上恐怕就会有些困难。而Arduino已经划定了一个比较统一的框架，一些底层的初始化采用了统一的方法，对数字信号和模拟信号使用的端口也做了自己的标定，初学者在交流电路或程序的时候非常方便。

丰富的第三方资源：Arduino无论硬件还是软件，都是全部开源的，你可以深入了解到底层的全部机理，它也预留了非常友好的第三方库开发接口。秉承了开源社区一贯的开放性和分享性，很多爱好者在成功实现了自己的设计后，会把自己的硬件和软件拿出来与大家分享。对于后来者，你可以在Arduino社区轻松找到自己想要使用的一些基本功能模块，比如舵机控制、PID调速、A/D转换等。一些模块供应商也开始越来越重视Arduino社区，会为自己的产品提供Arduino下的使用库。这些都极大地方便了Arduino开发者，使你可以不必拘泥于一些基本功能的编写，而把更多的精力放在自己想要做的功能设计中去。

是的，单纯从嵌入式开发的技术角度来说，Arduino并不是第一选择，为了尽可能地照顾初学者甚至是电子开发的门外汉，Arduino定制了很多底层的设计，这也是许多经验丰富的嵌入式设计人员对Arduino嗤之以鼻的原因之一。那么Arduino的定位究竟在何处呢？

Arduino的定位

Arduino最初确实是为嵌入式开发的学习而生，但发展到今天，它已经远远超出了嵌入式开发的领域。有些人将Arduino称为“科技艺术”，很多电子科技领域以外的爱好者，凭借丰富的想象力和创造力，也设计开发出了很多有趣的作品。

在国内，Arduino更多的还是作为一种嵌入式学习和开发工具出现，但是它的魅力绝不仅仅如此，它完全可以作为一种新“玩具”，甚至新的艺术载体，以吸引更多领域的人们加入到Arduino的神奇世界里来。

Arduino的硬件

是不是已经迫不及待，想要开始你的Arduino之旅了？赶快到购物网站上搜一搜Arduino，然后……是不是被各种不同的Arduino控制板搞花了眼？

Arduino并不是一成不变的，每隔一段时间，Arduino官方组织就会发布最新的设计，在原有基础上进行升级，让爱好者们更方便地使用。同时，为了满足不同层次的开发要求，Arduino也推出了不同版本的控制板设计，让我们来认识一下使用最多的几种设计。

Arduino Uno：Uno版本应该说是Arduino的基础板，也是初学者的第一选择。它提供了基本的数据接口，对初学者来说足够的存储空间，无论是读取传感器，还是驱动电机，或者与电脑通信，都可以轻松地胜任。

Arduino Mega 2560：这一版可以算是Uno的升级版，各种接口的数量比Uno要多，而且其搭载的单片机型号也要比Uno的单片机更高级一些，运算速度也更快。如果你觉得Uno的硬件资源无法满足你的需求，那么你可以尝试一下Mega，当然它的价格也会比Uno更高一些。

Arduino Nano：这个可以说是Uno的简版，优先考虑了体积上的优化，尽量将体积做到最小，可以满足一些手持设备或体型微小的设备使用。当然性能上相比Uno也略有缩水。

也许有些心急的朋友已经要问了：哪一款可以控制步进电机？哪一款可以实现无线通信？哪一款可以演奏音乐？……

如果我告诉你都不可以，你会不会很

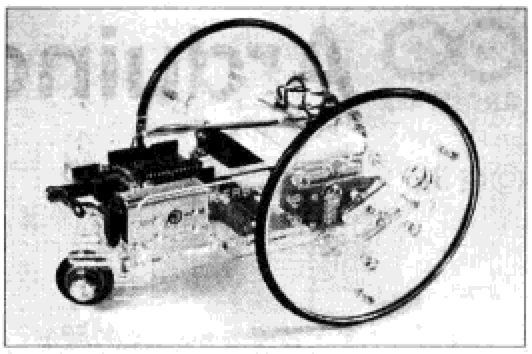


图2 用Arduino控制的三轮小车

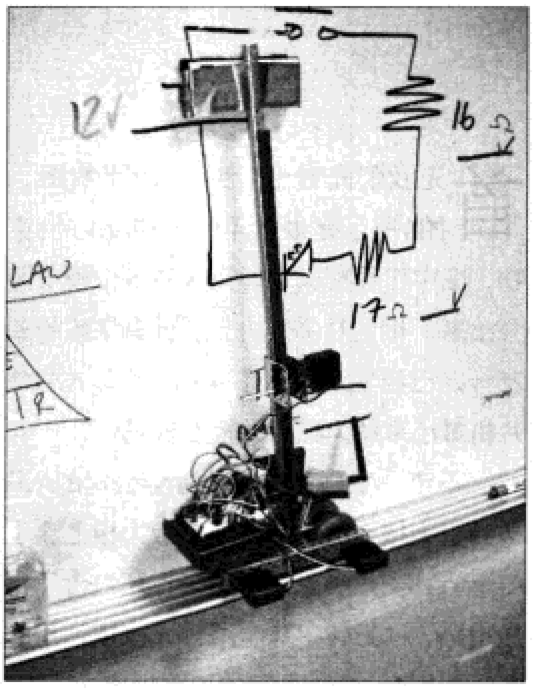


图3 用来擦除白板的自动机器

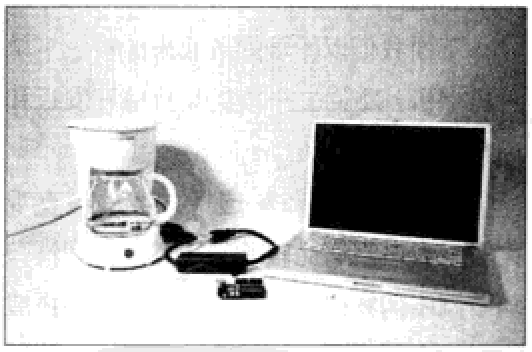


图4 发条微博自动给你煮咖啡

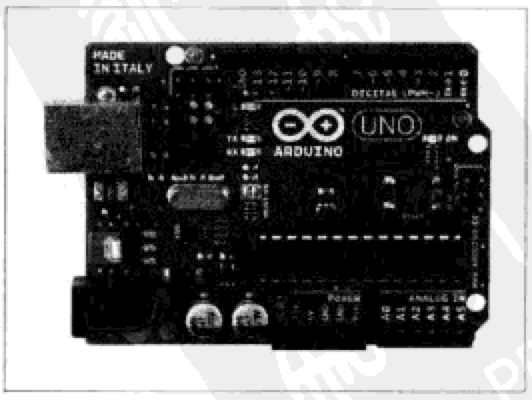


图5 Arduino Uno

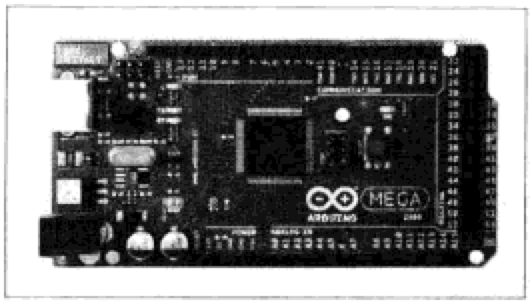


图6 Arduino Mega 2560

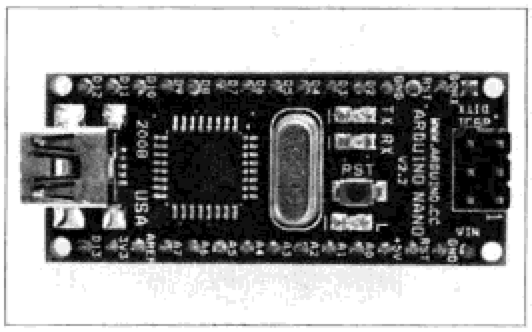


图7 Arduino Nano

失望？

Arduino作为一种控制芯片，所起的作用类似于我们的大脑，大脑是无法自行运动或是发声的。大脑所起的作用类似于指挥官，Arduino也是如此，想要完成一些实际任务，离不开外围电路的支持。

很多人又要头痛了，电子电路完全不懂怎么办？其实现在这一点也已经不是什么大问题了。对于电子专业的学生，或是想要学习电子电路的爱好者，当然要一切靠自己，查资料、买元件、做PCB、焊电路……这其中当然会有很多辛苦，可其中学到的知识无疑也是装入自己脑袋的。

如果不想在电子电路方面花费太多的精力，也没有问题。现在很多厂商都开发了各种各样的Arduino外围功能电路，无论是电机驱动、无线通信、音乐播放，还是读取各种各样物理信号的传感器（压力、速度、倾角、方向等），都应有尽有，而且使用方便，可以直接连到Arduino控制板上工作。

Arduino的软件开发方法

说完了硬件，那么我们接下来谈谈很多人都头痛不已的软件开发吧。

一般的嵌入式代码都是main函数中有一个死循环，程序不断地反复执行，单片机在每个循环内读取各个外部端口的数据，然后根据这些数据来做出相应的策略判断，再把指令通过外部端口传送出去，达到控制外部设备的目的。

Arduino的程序运行方式与此差不多，但代码结构略有不同。它的代码中没有main函数，而是使用了两个不同的必备函数：setup、loop。

相信很多朋友已经猜出来了，Arduino代码是把初始化的代码放在了setup函数中，而把需要不断循环执行的代码放在了loop函数中。虽然这与传统的嵌入式程序结构不同，但设计思想还是一致的。

Arduino的代码语法与C++类似，也包含了对类和对象的支持。即便是没有任何代码编写的基础，也可以很快上手。关于Arduino的代码编写，无论是Arduino的官方网站，还是网络上都有相当丰富的资料，这里不再赘述。

很多Arduino制作还要涉及另外一种程序的编写，就是上位机程序，一般是PC端的程序。你可以采用任何你所熟悉的高级语言进行开发，接收Arduino控制板所传递过来的数据（串口传输），在屏幕上显示输出或写入文件。VB、VC++、Delphi、Flash Script、Processing等都能满足你的要求。

图13 开发环境软件截图（此开发环境可以在Arduino网站上免费下载）

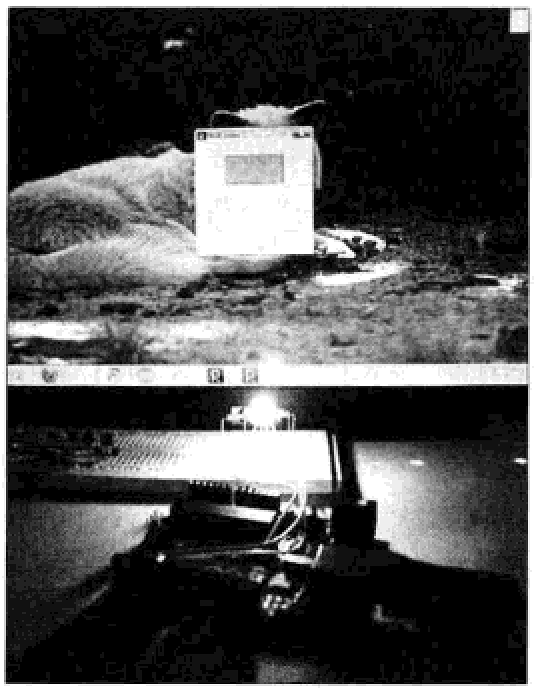


图14 一个通过上位机程序控制外部电路灯的颜色

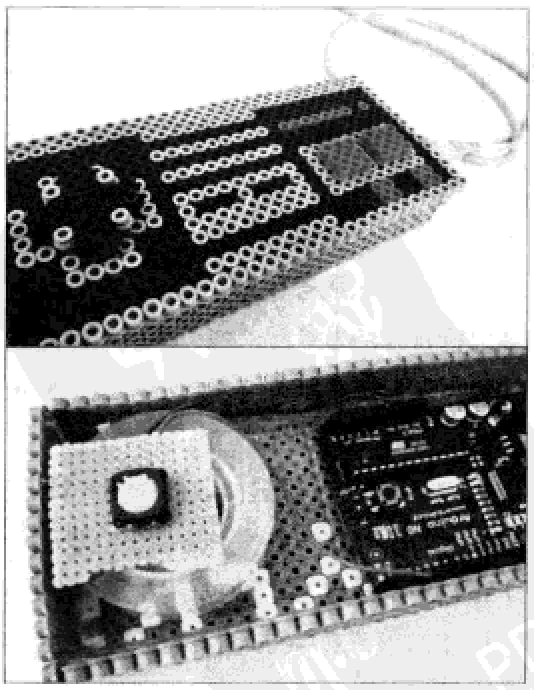


图15 用Arduino制作的游戏手柄

图8 电机驱动板

图9 蓝牙模块

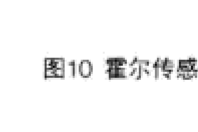


图10 霍尔传感器

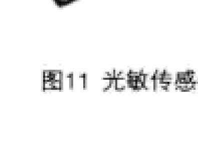


图11 光敏传感器

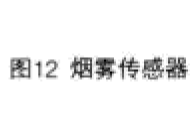


图12 烟雾传感器

智能对线仪

◎阚海辉

在电气施工中对预设好的线路安装电器设备时，往往会遇到很难查找对应的控制线的问题。用常规同类仪表检测，有以下3点不足：（1）需两人合作或一人多次两头往返检测，十分不便；（2）需预先指定参考“地”，检测时必须先查找到参考“地”线才能检测，很不方便；（3）这类产品大多局限在数字电路设计上，电路复杂，操作繁琐，有很大局限性。为此，我利用单片机技术设计了快捷对线仪，具备智能识别功能，无需指定参考“地”，可单人一次性完成16根线路的检测，以数字方式直观显示结果，非常快捷。

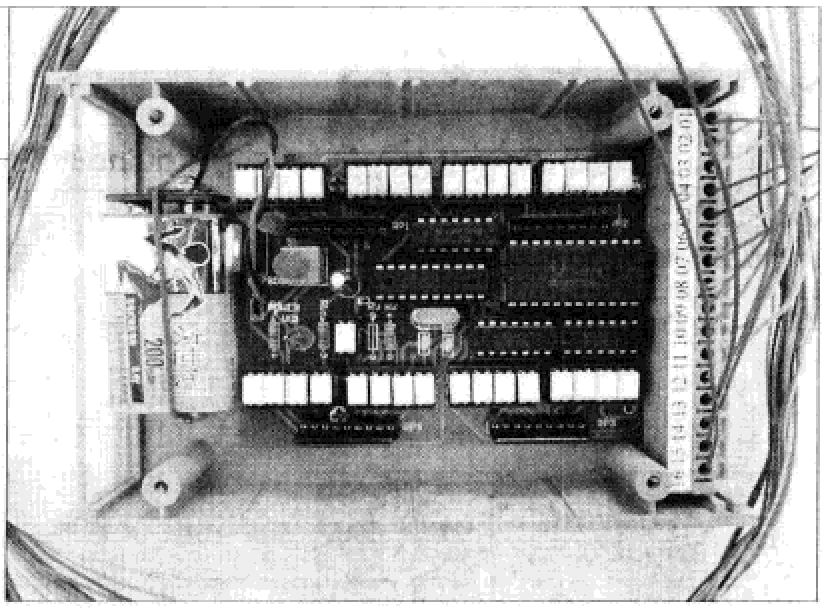


图1 扫描发射器

测线步骤

智能对线仪由扫描发射器（见图1）和数显接收器（见图2）两部分组成，各由两个9V干电池供电。

使用时，首先选取导线组集中的一端接扫描发射器，这样能减少检测次数。在每一个接线端子上接上一根被测导线，无需考虑顺序，然后在导线端标上对应端子的序号，并打开电源开关。

接着，打开数显接收器电源开关，在导线组另外一端，用红、黑两表笔分别任意接触两导线金属端头，显示屏立即显示红表笔所接触的导线线号，然后依次检测所有导线的线号。

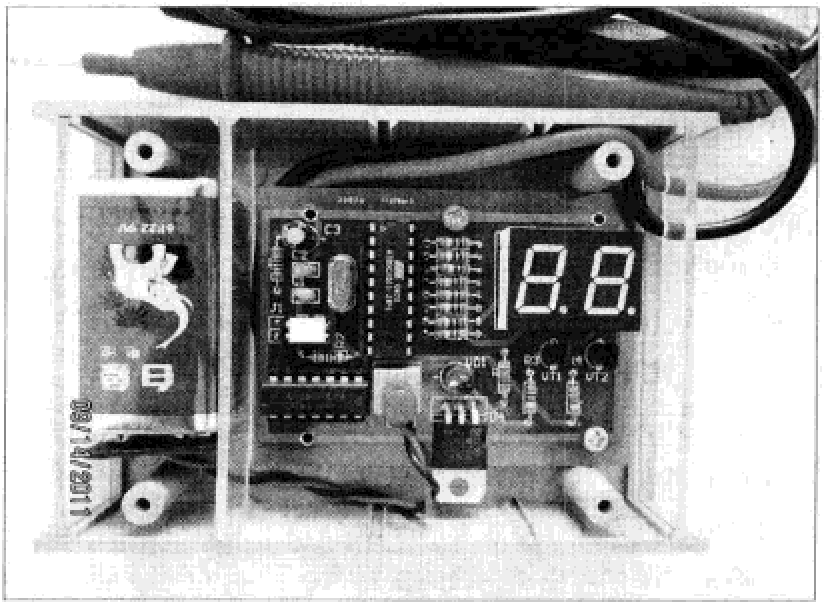


图2 数显接收器

电路工作原理

如图5所示，扫描发射器中的线号数据利用单片机AT89C2051的串口输出，单片机电平信号V_{pp}为5V。为增加传输距离，串行数据信号经光耦IC2进行升压和倒向变换。IC2为译码器74HC154配合串口信号选通对应光耦IC8～IC15，很巧妙地实现了串口扩展和多选一功能，即分时传输线号数据。从X1至X16依次循环发送线号数据“1”至“16”，当某根线传送数据时，其他所有线均为参考“地”线，这样就无需刻意寻找参考线，在测量时任何导线都可以作为参考线，真正做到随机检测、快捷、智能化。

如图5所示，数显接收器采用光耦IC2接收信号。由于光耦内发光二极管具有单向性，能检出红表笔所接收的线号数据，滤除了扫描中黑表笔上的数据。然后，数据经非门IC5整形倒向，获得标准的串行数字信号，并经单片机IC1接收、译码，最后显示出线号。

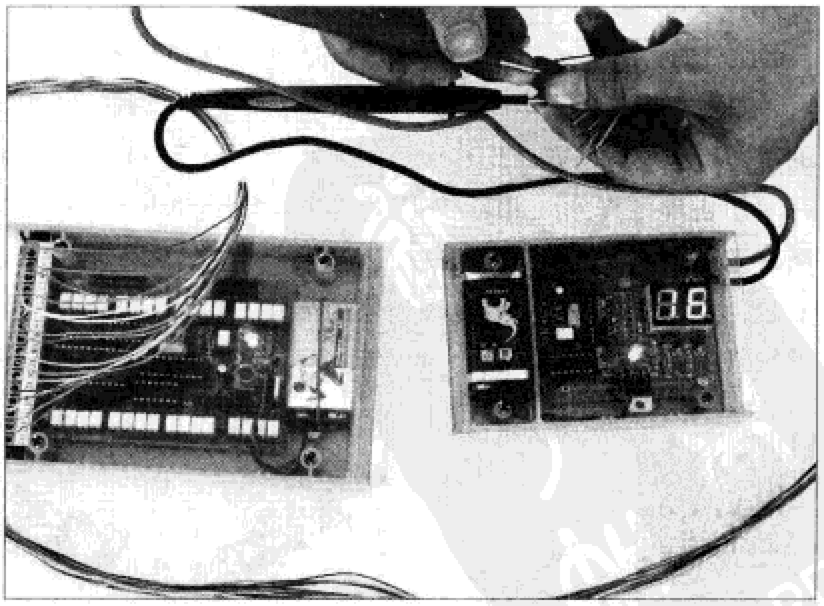


图3 检测过程

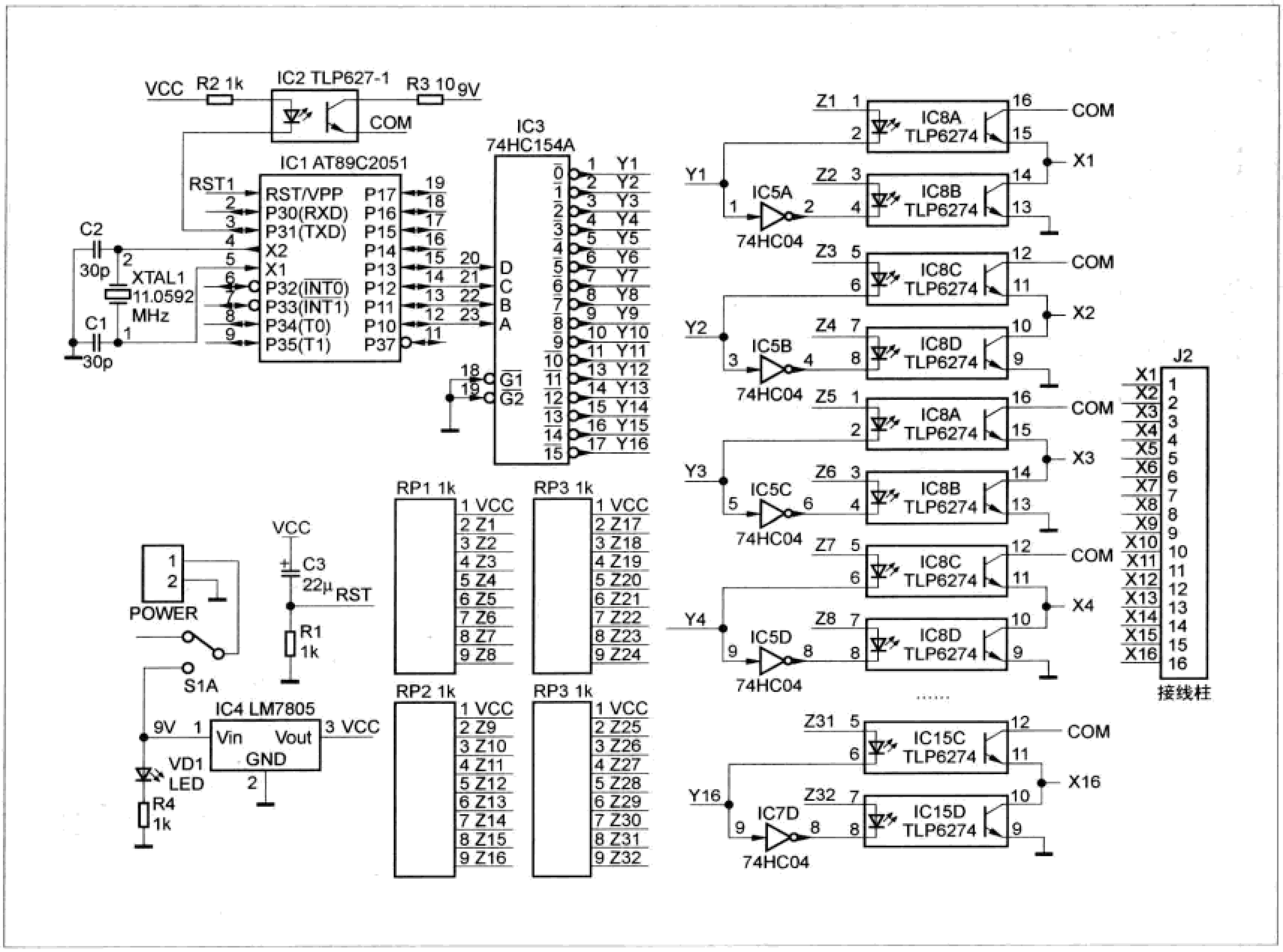


图4 扫描发射器原理图

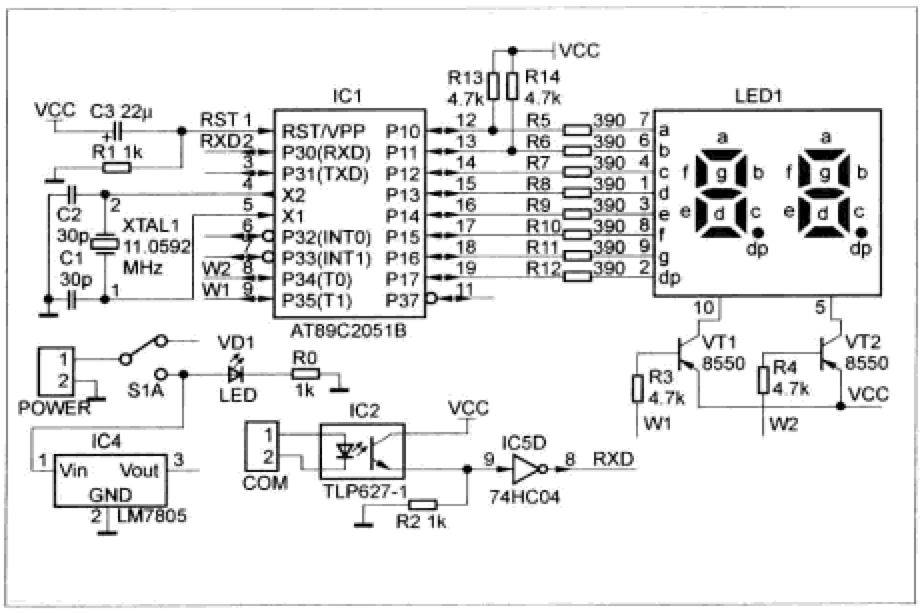
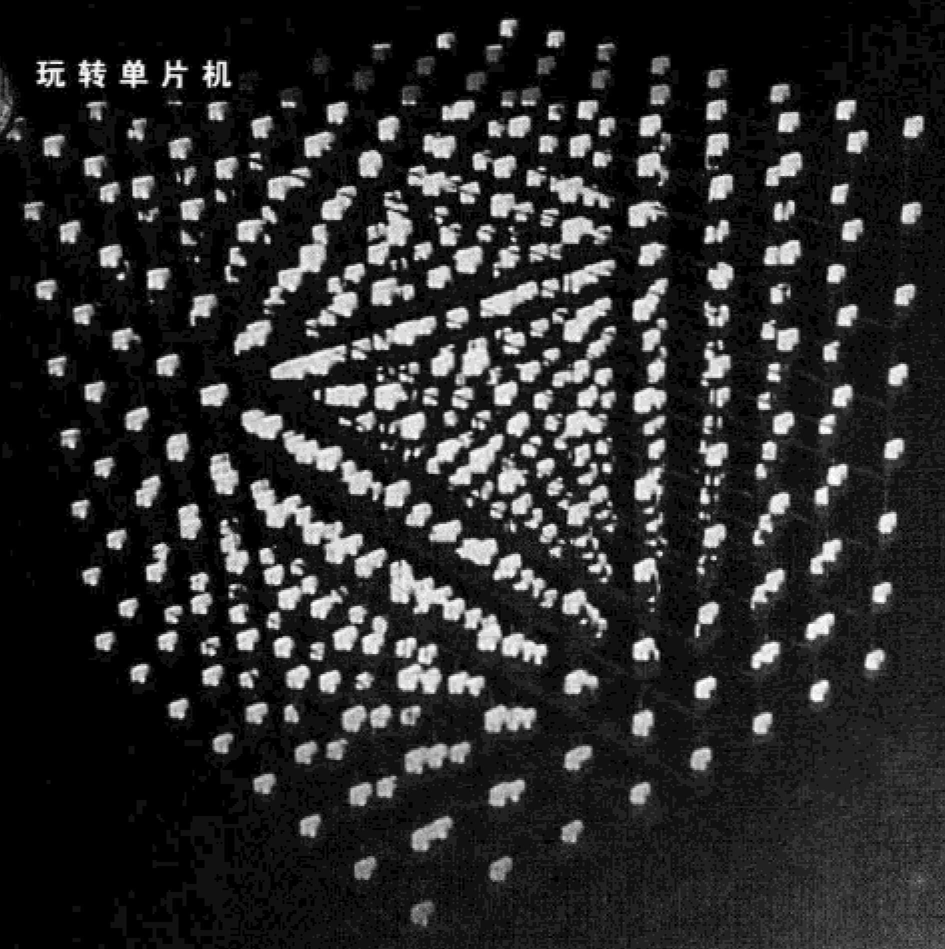


图5 数显接收器原理图

电路制作与调试

电路使用 Protel DXP2004 绘制出原理图，并自动生成印制板图，然后制作印制板、焊装元件。如果没什么特殊情况，都会一次成功。也可分步运行调试，编写一段发送固定数字的串行信号程序和接收程序，然后把发送和接收电路的单片机直接对联，观察是否能顺利工作。如果能顺利工作，再通过光耦电路对联，若还能正确显示，则说明电路制作成功了。如不能正常显示，则：(1) 触摸芯片等器件，看是否发烫，器件是否反接。(2) 检查电源电压是否正常，整机电流应为 100mA 左右。(3) 用示波器观察晶体振荡器引脚电压波形，判断振荡电路是否启振。(4) 检查显示驱动电路是否正常。

■ 本文相关源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn上下载。



◎杜洋

CUBE8光立方的图形DIY

2011年9月3日，在上海举办的中国无线电展上，CUBE8光立方被摆放在《无线电》杂志的展台上。3D立体的光影效果引来不少电子爱好者驻足观看。大家左看右看，却迷惑了——只用一片单片机就可以控制500多个LED的3D显示，同时又实现了触摸按键和音频信号采集，这是什么单片机？是怎么做到的呢？能提出这些问题的人一定不是《无线电》杂志的长期读者，因为关于音频采集和电平式触摸技术，我早已经撰写过文章发表在杂志上了。因为展会现场的灯光太强，CUBE8的图形显示效果没能被很好的体现。其实在CUBE8中我最得意的还是3D图形效果的设计。如果我在现场，就会偷偷地切断会场总电源，然后用电池组给CUBE8供电，在惊慌逃窜的人群中展现蓝光3D图形的科幻质感。很不幸、也很幸运，我没能赶到会场，不过我还是能从新闻照片上感受到现场的气氛。

其实CUBE8中有一项很好、很强大的功能没能得到展示，那就是我最最得意的用户图形自定义功能。因为这一功能给了CUBE8第二次生命力，带来本质上的变革，让它不仅能成为富有科技品味的高档装饰，还能成为编程爱好者的3D开发平台。现在已经有几位CUBE8爱好者编出了自己的图形，还有朋友已经开发出了让CUBE8显示3D立体时钟的功能。CUBE8用户自定义功能让“我的CUBE8”变成“你的CUBE8”，你就把它当成一款显示屏，就像16×16LED点阵屏和LCD1602液晶显示屏一样使用。只是CUBE8的显示是三维空间的，在编程的思维方式上还要有一些转变才行。本文中我将为大家介绍CUBE8光立方的用户自定义方法，包括电路的制作、精简I^2C总线的通信方式、图形的几种编程方法和动态图形效果的设计方法。即使你手上没有CUBE8，本文中的一些思路和方法也会给你一定的启发。

上海创意电子嘉年华上众人围观CUBE8光立方

扩展自定义电路

CUBE8光立方上面的单片机是系统自带图形的发生地，60KB的内存空间都被用来存储图形数据表和CUBE8基本功能的程序了。如果想在这块单片机上再写入用户自己的图形数据，已经是不可能的事情了，所以我设计了一个新的方法来解决这个问题，那就是在原有系统的基础上再扩展一块单片机。这块新的单片机也有60KB的内存空间，而这些空间是完全开放给用户的，用户可以自由使用，在其上面扩展更多的功能，我们暂且把这块单片机叫作用户自定义芯片吧。

用户自定义芯片可以是任何一款单片机，比如我们常用的8051单片机、AVR单片机、PIC单片机甚至是ARM处理器。用户自定义芯片和CUBE8上的主控制芯片采用的精简I^2C总线通信。不断地把用户自己的图形传送给CUBE8主控制芯片，然后显示出来。

所谓精简I^2C总线是我自己设计的一种通信方案，在设计之初，我是使用标准的I^2C总线来通信的，标准I^2C总线的协议比较复杂，每一组数据需要有从设备地址，还要判断这次通信是读还是写，而且读写的数据量不同，在编程处理上还有

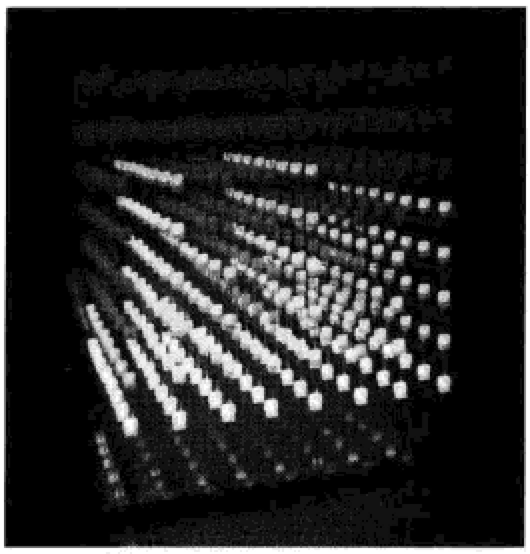
一定的难度。更糟的是，标准I^2C总线因为数据量大，导致通信速度变慢，如果想设计一款快速变化的图形就会出现数据错误的问题。为了解决这个问题，我就对标准I^2C总线做了一些修改，去掉了从设备地址数据、固定了单次通信的位长度、删除了读数据的程序（通信主要是向CUBE8写入数据）。这样修改后的I^2C总线其实已经不是I^2C总线了，于是我叫它精简I^2C总线。不过因为去掉了从设备地址数据，所以数据线上只能挂接一个CUBE8，而不能挂接其他I^2C总线设备了。这种牺牲应该是值得的，因为用2个IO接口连接CUBE8实现用户图形显示，已经是很简单的设计了。

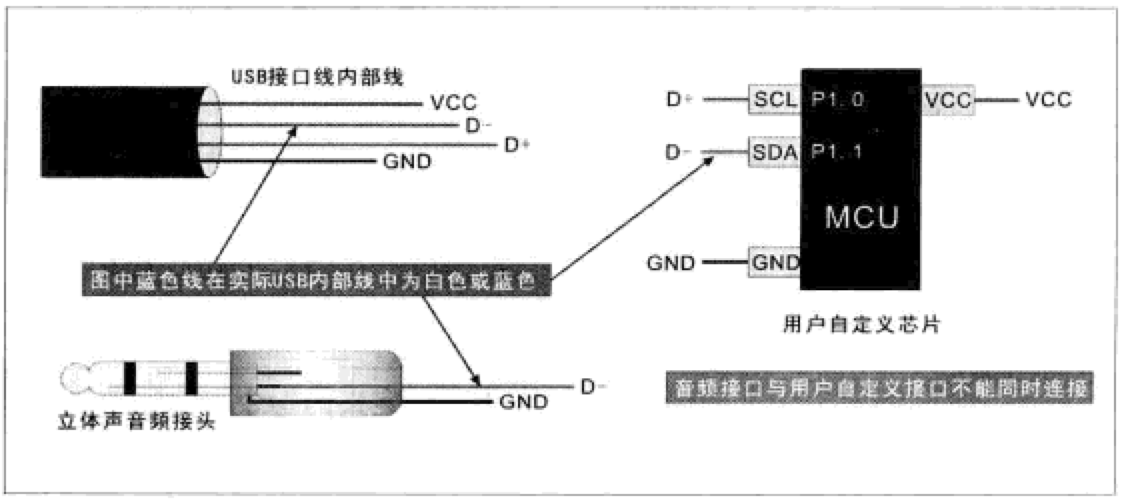
为了追求接口设计的简洁，我没有在PCB上专门留出精简I^2C总线的接口，还是在板上唯一的miniUSB接口上下文章。在miniUSB接口中有D+和D-这两根数据线没有使用，因为我们没有设计CUBE8直接与电脑通信的程序。又因为精简I^2C总线也是使用两根线来完成通信的，所以D+和D-就理所应当地服务于精简I^2C总线了。

制作用户自定义芯片的控制板其实很简单，首先剪开给CUBE8供电的miniUSB线，断开数据线中的D+和D-，引出CUBE8一端的D+和D-两根线，直接连接到用户自定义芯片的P1.0和P1.1上。当然这个IO接口是可以在程序中任意定义的，是通过IO接口模拟的通信方式，用户自定义单片机一端只需要制作出单片机最小系统就可以了。当然了，如果你想为CUBE8加装红外遥控器或者时钟功能，就可以在用户自定义芯片的其他IO接口上连接红外接收头或时钟芯片。我之前说过，CUBE8光立方和你手边的LCD1602液晶屏模块没有什么区别，把你的用户自定义单片机看成你的核心控制器，CUBE8只是一个美丽的显示设备。

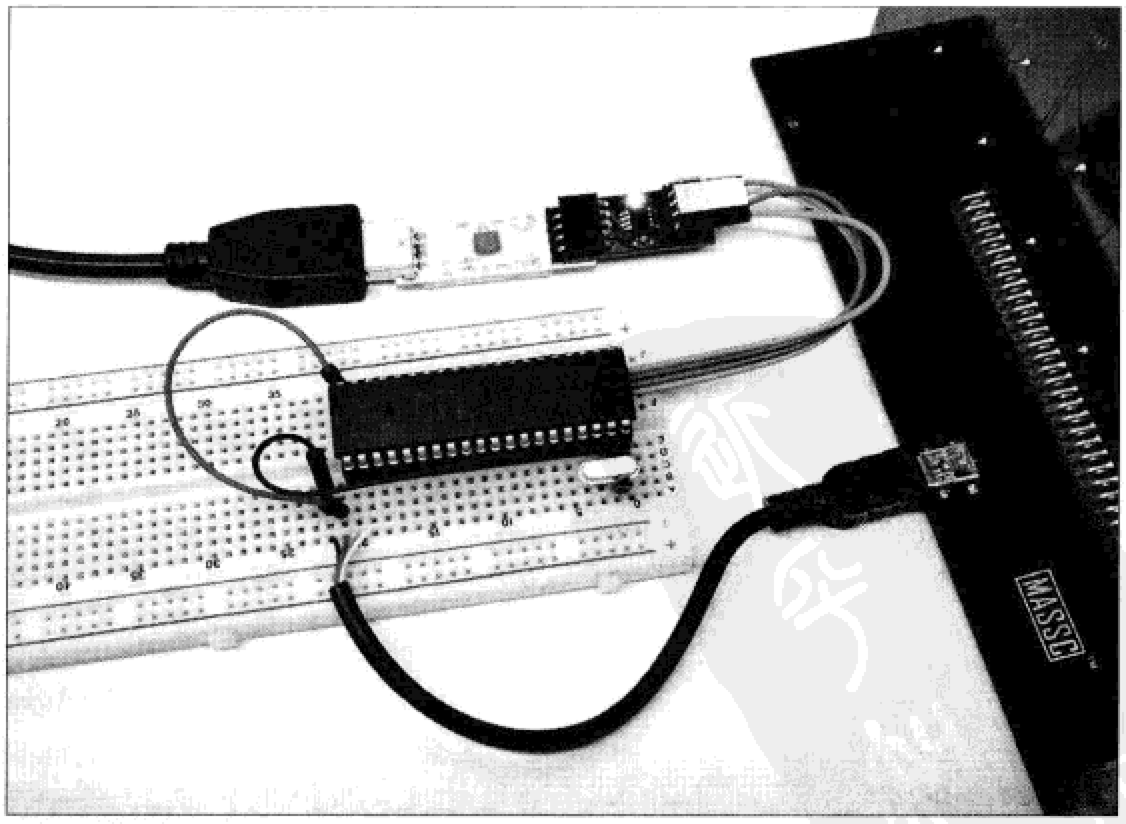
CUBE8光立方还有一个有趣的功能就是音频波形显示，可以从电脑、MP3的耳机接口取出音频信号，然后以动感的波形显示在CUBE8上面。CUBE8音频采集接口还是通过miniUSB接口上的D-线来完成的，所以在加入用户自定义芯片时一定要注意，自定义图形和音频波形显示这两个功能是不可以同时使用的。在使用音频波形显示时就要关掉用户自定义芯片的电源，在显示自定义图形时就要关闭或断开音频信号源。

以下的用户自定义图形设计的介绍将以STC12C5A60S2（或STC12C5A32S2）为例，在编程部分的C语言程序讲解也将


音频显示模式（A）效果



USB接口扩展功能连接电路原理图

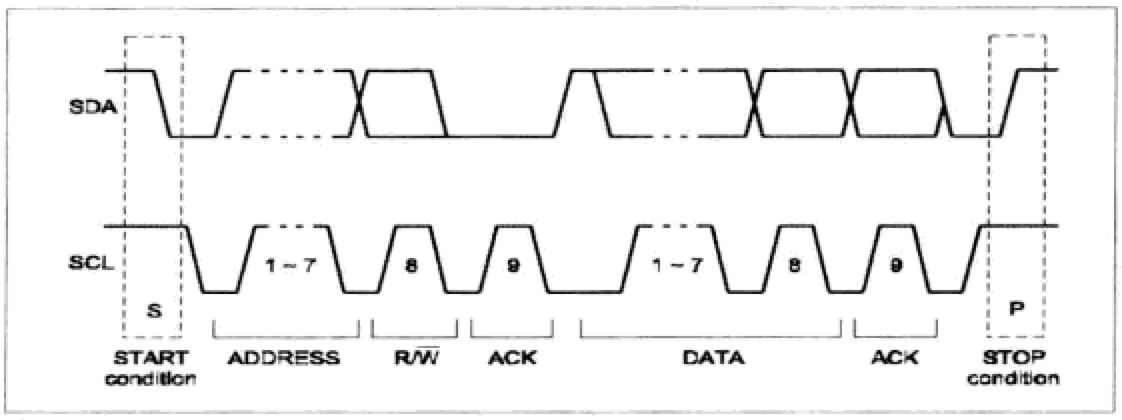


自定义板实物电路连接图

以8051系统单片机的C语言编程为例。如果你想使用其他类型的单片机，可以在解决程序流程的情况下重新编写。为了可以快速建立起自定义板，我是在面包板上搭建的电路。把miniUSB接口剪断，取出数据线直接按电路图插在面包板上就可以了。当你完成了自定义图形的开发，再用洞洞板把电路固定下来。

连接好硬件电路之后，我们接下来就开始介绍软件层面的事情。首先我们讲的并不是编程，并不是说软件层面就只是编程问题，CUBE8采用精简I²C总线通信，我们先要了解到它的通信协议和原理，然后根据这个原理编程，才能真正掌握核心问题，进而随心所欲。各位初学者朋友，请不要听到这些专业名词而感到害怕，即使你不了解那些深层次的问题，也依然可以编写出炫酷的图形，在成功实现自己的图形显示之后，再来深究其原理也是不错的方法。不论哪种方式都要随着自己的兴趣走。

精简I²C总线依然沿用了两线制，即数据线（SDA）和时钟线（SCL），通信的基础协议也和标准I²C总线一样。可能有的朋友还不了解标准I²C总线是怎么回事，不过这并不妨碍我们学习，因为在我给出的实例中，已经写好了底层协议，想不想了解标准I²C总线只是你的“业余兴趣”了。通过下面的“精简I²C总线时序图”可以了解最底层的协议方式。总线完成一次操作需要2个字节：指令/地址（8位）、数据（8位），这2个字节的前面有起始位、中间有应答位、后面有结束位，它们都是辅助数据发送的，没有实际的意义。我们所要关注的就是这2个字节的内容，这也是CUBE8用户图形编程的关键。通过不同的指令/地址、数据字节的配合，可以实现不同的操作。



精简I²C总线时序图

用于自定义的指令

了解完底层通信协议之后，我们再来看看应用层面。刚才我们说过，底层协议设计到最后，留出了2个字节的接口。这里说的接口，不是实物的接插件，而是底层协议和上层应用编程之间的交接部分。我们在上层图形开发时，把一系列复杂的图形数据变成2个字节一组的数据传送给底层协议，底层协议再把这2个字节以精简I²C总线的形式发送给CUBE8的主控制芯片。那么一个新问题就来了，我们怎么规定这2个字节的数据是什么呢？这个问题带出了我们下面要讲的指令集。

指令集是一种规定，告诉编程者特定字节的内容代表什么含意。LCD1602液晶屏模块也有指令集，了解指令集是后面图形开发的关键。CUBE8用户自定义的指令集是我设计的，其中包括了所有可设置的项目，它是一个全开放式的自定义模式，在这里你可以任意操控每一个点，设计出任何你想要的图形效果。另外，你还可以操控LED的亮度、动画速度、全局显示和反亮显示。请看表1的指令集，注意里面的“十六进制”一栏，后面的编程中我们将经常用到它。

在用户自定义指令集表中“单列显

表1 用户自定义指令集表

	十六进制	字节1：指令/地址								字节2：数据							
		7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
单列显示	0xXXXX	0	0	列地址（0~63*）						显示内容（从左到右Z形排列，下高位）							
全局显示	0x40XX	0	1	0	0	0	0	0	0	显示内容（将送入64个列寄存器）							
显示亮度	0x800X	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	亮度值：0~12*(12时最亮)			
显示速度	0x820X	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	速度值：1~12*(12时最慢)			
全局清屏	0xC0__	1	1	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
反亮显示	0xC2__	1	1	0	0	0	0	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
菜单跳转	0xD0XX	1	1	0	1	0	0	0	0	菜单编号：0~255（参考菜单表1）							
显示使能	0xE0XX	1	1	1	0	0	0	0	0	显示停留时间长度：0~255							
菜单2跳转	0xD2XX	1	1	0	1	1	0	1	0	菜单编号：0~5*（参考菜单表2）							

X：表示用户设置的数据　　_：表示此处可以是任意数值　　*：如数据超出限定范围将导致不可预知的错误

示”是设计图形的关键指令。在这组2字节数据中，第1个字节用来确定CUBE8的列地址，第2个字节用来确定这一列所要显示的内容。所谓列地址即是将CUBE8的显示阵列分成64列，每一列8个位。列地址就是从CUBE8的正上方向下看的俯视平面图，电源开关按键处为起始的00地址，依次按“平面地址对照表”（表2）排列，其中每一列都包含着纵向的8个位，低位在上、高位在下，如“纵向点位对照表”（表3）所示。例如，要想点亮CUBE8的第1列最上边的一个点，我们要发送的2个字节就是0x00和0x01，第1个字节0x00表示的是第00列地址，0x01则表示这一列中第0位置1（点亮）。其他列的控制也可按此法炮制。

表2 平面地址对照表

		列1面	列2面	列3面	列4面	列5面	列6面	列7面	列8面
后	行8面	07	0F	17	1F	27	2F	37	3F
	行7面	06	0E	16	1E	26	2E	36	3E
	行6面	05	0D	15	1D	25	2D	35	3D
	行5面	04	0C	14	1C	24	2C	34	3C
	行4面	03	0B	13	1B	23	2B	33	3B
	行3面	02	0A	12	1A	22	2A	32	3A
	行2面	01	09	11	19	21	29	31	39
前	行1面	00	08	10	18	20	28	30	38
		左							右

除了设计自己的图形之外，你还可以设置CUBE8内部的菜单值，任意切换到系统自带图形上。设置CUBE8内部菜单值是一个很实用的设计，比如你想把CUBE8送给你的女朋友，于是编写了一个“小雪，我爱你”的图形效果。你这样做一定会让她很开心，可是接下来就麻烦了，如果同样的图形重复显示N次，她的额头将会出现黑色的三条竖线。可是你又不可能像我们开发人员一样，花1个月的时间来设计更多的图形。就在这个紧要关头，CUBE8内部菜单值设置会救你于水火之中。你可以在显示完你的浪漫图形之后直接用内部菜单值设置跳转到系统自带的图形当中，在系统图形完成一个循环之后再跳回来显示你的浪漫图形。这样不仅让她感觉“肥而不腻”，还可能让她误以为所有图形和硬件都是你制作的呢。

编出会动的图形

CUBE8除了可以满足你的“送礼”需要，还能够锻炼你的编程思维。这都依赖于CUBE8的两个独特优势：图形数据表加巧妙算法的动画编程和3D立体化图形的设计。大家之前都玩过LCD1602、LCD12864和LED点阵屏，通过它们学懂了2D平面图形的设计、生成和编程，这一过程会让你受到启发，熟悉了一种新的编程思维。而同样的启发也会在CUBE8中得到，把你的2D思维提升到3D的思维。

3D图形的设计也是很巧妙的事情，它需要发现三维空间中点、线、面、体的算法规律。 比如一个球形的图案，你需要在CUBE8的横、纵、高方向找到一个点，作为这个图案的基本边缘，再按此边缘的点向边上扩展，划出一个球的外框轮廓，最后把球内部的所有点都点亮。如果要让球动起来，就是把球运动方向一边的点点亮，再熄灭相反方向的点。静止的图案更多的考虑的是规则的几何形态，在设计动画的时候就要更关注节奏，动画的变化速度要均匀，以一个固定的节奏进行。这样，在配合音乐观看的时候就容易有视听合一的感觉。图形的显示是一种视觉感性的设计，所以在设计时还是要更多考虑观看者的感受。因为CUBE8的分辨率并不高，所以在设计时尽量多点亮LED，可以让立体感和观赏性更强。在程序中运用循环、判断语句、参数逻辑运算等方法，用最少的语句达到最佳的显示效果。因为3D图形的讲解是很难用文字和图片的方式说清楚的，所以我已经开始录制一套视频，专门介绍CUBE8用户自定义图形的编程方法，让CUBE8变成学习的平台。大家可以在《无线电》的官方网站www.radio.com.cn上找到这些视频并下载它们。

表3 纵向点位对照表

	位
	0
	1
	2
纵向8点 高位在下	3
	4
	5
	6
	7

现在我们了解了2个字节的底层接口，熟悉了指令集的作用，我们可以用编程把这些知识串起来，编写出可以真正达到目的的源程序。我们先看一条最简单的程序吧，把它写入用户自定义的单片机中，就可以让CUBE8所有的LED灯亮、灭闪烁。

在这段程序中，【1】是将单片机IO接口设置成强推输出，目的是给精简I^2C总线一个上拉能力，如果删除此句就必须在精简I^2C总线上加2个2.2kΩ的上拉电阻。【2】是一个冷启动夺权程序，在用户自定义芯片和CUBE8同时上电时，如果没有这一句的话，CUBE8就会不理会用户自定义芯片而运行系统自带的程序了，所以必须加上这一句，CUBE8才能被操控。【3】是亮度设置，大家可以回看一下指令集表中0x80是表示亮度设置的，后面的0C还是亮度的具体数值。在这条语句中把0x80和0x0C合并写成了0x800C，后面的所有数据也是同样的格式。【4】中

的0x40FF是全局显示程序，FF表示所有的LED灯全亮。【5】0xE0表示显示使能，即开始显示。这里需要注意了，我们在【4】中发送全局显示指令，CUBE8也接收到了，可是这时没有开始显示，需要运行【5】才开始显示。指令发送和显示使能的分开处理是有用意的，在后面的程序中你会发现这一奥秘。

```
void main(void){//主程序
    P1M0 = 0x03;//使IIC总线接口设置为强推输出                【1】
    U5_ON( );//冷启动时抢夺控制权                            【2】
    while(1){//主循环体
        SDP(0x800C);//设置显示亮度为0x0C（最亮）              【3】
        SDP(0x40FF);//全局地址操作，0xFF点亮所有灯            【4】
        SDP(0xE050);//开始显示，停留0x50个时间单位            【5】
        SDP(0xC000);//清屏操作（所有灯熄灭）                  【6】
        SDP(0xE050);// 开始显示，停留0x50个时间单位
        }
    }
```

下面这段程序是一个实用的效果，它通过一个变量W来选择我们要显示的效果，这是未来我们编写复杂图形时的重要设计。【菜单0】是显示一组流动文字的程序，文字的内容是通过logo[ ]数据表来修改的。【菜单1】是一个旋转的空心方框，因为空心方框每一帧的图形都保存在数据表PP01[ ]中，所以【菜单1】的程序看上去很简单。不管是在【菜单0】还是在【菜单1】中，都会有一些看上去奇怪的程序结构，这就是图形设计的算法了。我们不可能把所有要显示的图形的每一帧画面都制作成表格，存放在单片机中，那实在是太大了，根本放不下。于是我们用了一些数字计算和循环调用的方法，使得同一个数据表可以显示出好几种效果。但是不管这个算法有多么复杂，它的最终目的都是改动那两个与底层协议有关的字节。你只要明白这一“万变不离其宗”的道理，接下来的算法和技巧只要经过一段时间的练习就可以掌握了。请花一点时间研究下面的程序是怎么工作的，如果手边有CUBE8的制作成品，就动手搭建电路，体验一下程序的运行过程吧。

限于篇幅，logo[ ]和PP01[ ]这两个数据表可以到《无线电》杂志网站上下载了解。

更多实例

现在，已经有许多CUBE8爱好者在这个平台上设计开发出属于自己的图形效果。其中来自中国香港地区的郭荣祥先生就已经开发出了随机上下光点移动、随机闪星星、随机水滴下落（下雨效果）、随机的弹弹珠和随机烟花等效果。这些设计不论从效果上还是从程序结构上看都是值得大家借鉴和学习的，于是我特别经过他本人的同意，把他设计出的源程序和我的一些自定义教学视频及应用实例程序一并打包放在《无线电》杂志的官方网站上。拥有CUBE8制作套件的朋友可以到上面免费下载。另外，如果你有什么好的图形设计，也欢迎到网站上发帖子，和我们大家一起分享你的聪明才智和成功的喜悦。

更多CUBE8的扩展

◆ 通过自定义单片机与电脑串口连接，在电脑上用串口发送图形数据到CUBE8显示。在电脑上设计一款图形显示软件，可以让擅长电脑软件开发的朋友玩转CUBE8。

◆ 通过I²C总线与Arduino平台连接，熟悉Arduino平台的朋友也可以研究CUBE8。

◆ 通过自定义单片机与时间芯片（如DS1302）连接，可以让CUBE8变身时钟显示器。

◆ CUBE8的自定义接口支持AVR、ARM、PIC、NXP、STM、STC等各系列的单片机。

CUBE8光立方，不只是一件前卫科技的装饰品，也是电子爱好者学习3D图形编程的平台。希望大家都可以用CUBE8玩得开心、学得愉快。

```
void main(void){//主程序
unsigned int c,d;//通用变量
    unsigned char W=1;//图形切换变量
    P1M0=0x03;//使IIC总线接口设置为强推输出
    U5_ON( );//冷启动时抢夺控制权
    while(1){//主循环体
        if(W==0){// 【菜单0】
            SDP(0xC000);//全局清屏
            for(d=0;d<29;d++){
                for(c=0;c<8;c++){
                    SDP((c+56)*0x100 +
logo[c+d+14]);
                    SDP(0xE001);//显示图形
                }
                for(c=0;c<8;c++){
                    SDP(c*0x800 + logo[c+d+7]);
                    SDP(0xE001);//显示图形
                }
                for(c=0;c<8;c++){
                    SDP(c*0x100 + logo[8-c+d]);
                    SDP(0xE001);//显示图形
                }
            }
            DELAY_MS(1000);//延时
            W++;
        }
        if(W==1){// 【菜单1】
            if(PP01[c] == 0xC000){
                SDP(0xE006);//显示图形
            }
            if(PP01[c] == 0xCFFF){
                c=0;
            }
            SDP(PP01[c]);
            c++;
        }
    }
}
```

◎严泽远

跨越30年的完美结合

QS18-12 辉光管电子时钟的设计

电子技术的迅猛发展，也许让我们遗忘了许多具有时代特征的产物。本次的制作，就让您的思绪随我一起穿越时空，去感悟一下30多年前的辉光数码管那迷人的色彩，然后再回归到当下，利用古典的它结合现代数字电子技术，设计一款实用的电子时钟。

首先介绍这款电子时钟的主要特点：

1. 6位辉光管数字显示，能够显示时间、日期、农历。
2. 两组闹铃功能。
3. 室内温度显示功能。
4. 红外线遥控操作。
5. GPS高精度校时。
6. 七彩背景灯。
7. 采用12V直流电源供电。

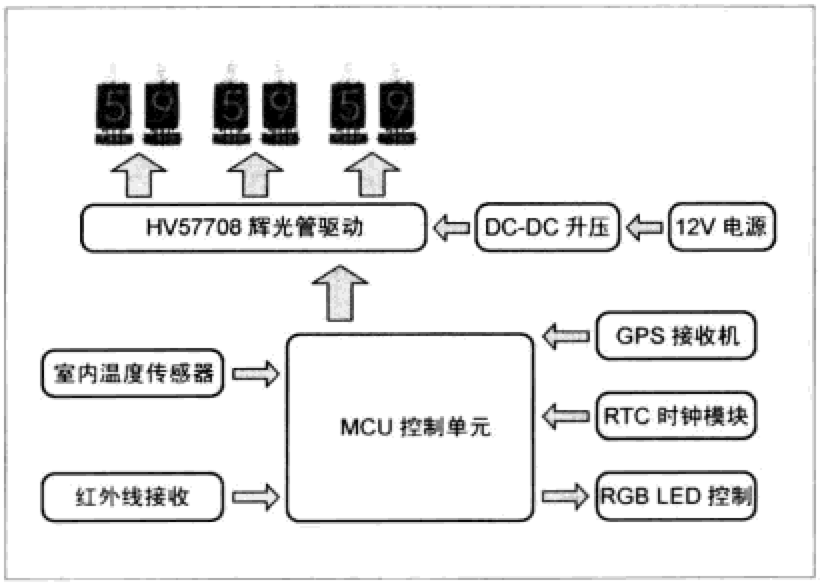


图1 辉光管模块间的控制关系

硬件结构

整个时钟由10个主要模块组成：

1. MCU控制单元：主要由单片机STC12C5624AD及复位电路等组成，用于控制各功能模块。

2. 12V电源：用于为时钟供电。

3. DC-DC升压电路：由MC34063A芯片等组成，用于产生辉光管的工作电压（直流170V）。

4. HV57708辉光管驱动：由HV57708PG芯片等组成，用于驱动6颗辉光数码管。

5. 辉光管：6颗用于显示时间日期等。

6. GPS接收机：用于接收GPS卫星信号实现精确校时。

7. RTC时钟模块：由DS3231SN芯片等组成，用于产生高精度时钟信息。

8. RGB LED控制模块：由LPD6803芯片等组成，用于控制6颗全彩背景灯。

9. 室内温度传感器：由DS18B20等组成，实现测量室内温度。

10. 红外线接收：由HS0038B红外线接收头等组成，用于接收红外线遥控信息。

辉光管的主要模块之间的控制关系如图1所示，本文在这里详细地介绍辉光管的原理及驱动电路设计，以及GPS校时的原理与应用。

辉光管工作原理

冷阴极辉光数码管（简称辉光管）是真空电子管时代的产物，用来发光显示数字及符号，在我国20世纪70年代和80年代

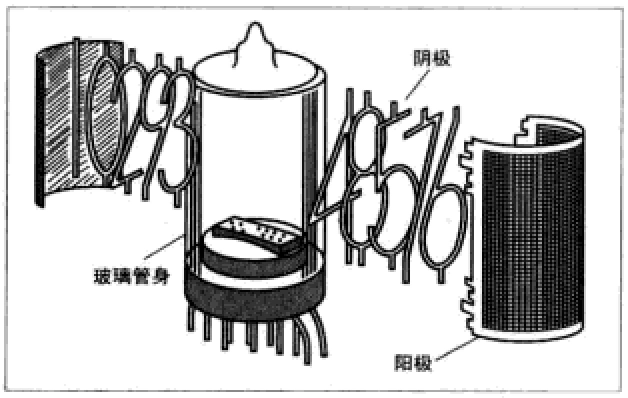


图2 辉光管分解图

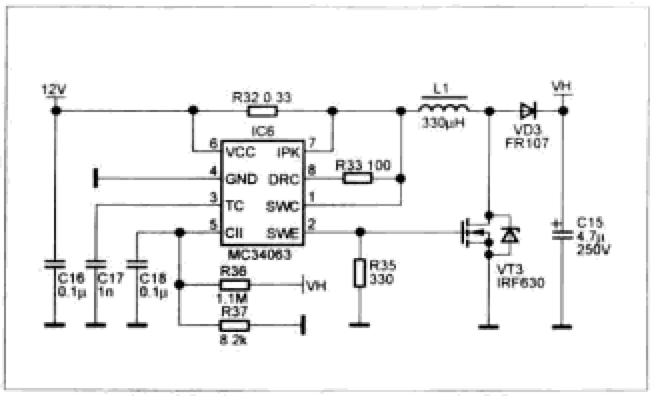


图3 辉光管DC-DC升压电路

得到了广泛的应用。它是利用带有一定电压的电极在惰性气体环境中，阴极产生辉光放电发光的原理进行数字或符号的显示。

一个完整的辉光管分解图如图2所示，它有一个阳极和10个阴极，10个阴极是独立分开的，并且每个阴极都单独做成了一个数字（0~9数字）的形状，然后将其互相重叠封装在一个形似电子管的玻璃壳内。当高电压通过限流电阻加载到阳极上时，任何一个阴极（0~9数字）与阳极间的电压差大于启辉电压时，该阴极（0~9数字）便会发出橘红色的辉光，显示出相应的数字。当阳极与阴极电压差低于熄灭电压时，阴极（0~9数字）则停止发光，显示的数字消失。

辉光管显示的数字颜色是橘红色的，与我们常见的测电笔氖泡的颜色相似。尤其是在夜晚，朦胧之下伴随着橘红色的灯光使整个环境充满着温馨感，与现代的LED显示感觉完全不同。而且内部的金属字符相互重叠，显示不同数字的时候错落有致，层次感很强。每一个数字，都是由一片专门的金属制作而成，独特完整的字形，与现代的7段数码显示以及点阵数码显示出来的数字风格完全不同。

这次设计的辉光管电子时钟使用的辉光管型号为QS18-12，是20世纪80年代中国制造的一种侧显的辉光数码管。管身高度约45mm，直径18mm。阳极电压为170V，阴极电流为2mA，启辉电压150V，熄灭电压100V。我们在应用时，只需将要显示的数字对应的阴极电压提高到150V以上，将不需要显示的数字对应的阴极电压降低到100V以下，即可显示出我们需要的数字了。

升压电路设计

通过以上的介绍，我们了解辉光管是如何显示数字的，那么能让辉光管显示数字的一个必要条件就是阳极电压达到170V。在当年辉光管应用的时候，大部分是采用将220V交流整流后连接限流电阻直接驱动辉光管显示，那么在现阶段的制作中，为了安全起见，整个时钟计划采用直流12V供电，这样就需要一个直流12V到直流170V的升压电路来为辉光管提供工作电压。

这里选用了常用的低成本DC-DC变换器MC34063A，电路设计如图3所示。它由具有温度自动补偿功能的基准电压发生器、比较器、占空比可控的振荡器、R-S触发器和大电流输出开关电路等组成，输入电压范围是2.5~40V，输出电压可调范围是1.25~40V，最大输出电流是1.5A，最大工作频率是100kHz。

结合本制作的高压电路的需求是170V/12mA，我们需要在MC34063A输出部分外接一颗耐压在170V以上的MOS管。这里选用的是IRF630，它的参数是V_{dss}=200V，R_{ds}<0.4Ω，I_d=9A。

辉光管驱动电路设计

通过了解辉光管工作原理我们知道了辉光管数字显示和熄灭的条件，控制方法有很多种，最简单的办法是使用单片机IO引脚配合耐压170V以上的晶体三极管控制辉光管阴极的电压，电路如图4所示。

当单片机IO输出为高电平时，三极管A42处于导通状态，相对应的辉光管阴极接地，与阳极电压差高于启辉电压150V，对应数字发光，字符显示。当单片机IO输出为低电平时，三极管A42处于截止状态，对应的辉光管阴极断开与零电势的连接，字符熄灭。

每控制一个辉光管的数字，需要一个单片机的10个IO口，时钟一共有6只辉光管，一共需要60个IO口，而且还需要相对应的60个三极管和60个电阻，电路相对复杂，而且对单片机IO数量要求较高，所以在这里我们放弃了这种驱动方式，而选用了HV57708PG。它是一款64通道高速串行转并行转换器，并且采用HVCMOS技术，输出电压高达80V，总驱动能力高达1200mW。这样我们使用一颗HV57708PG即实现了6颗辉光管的

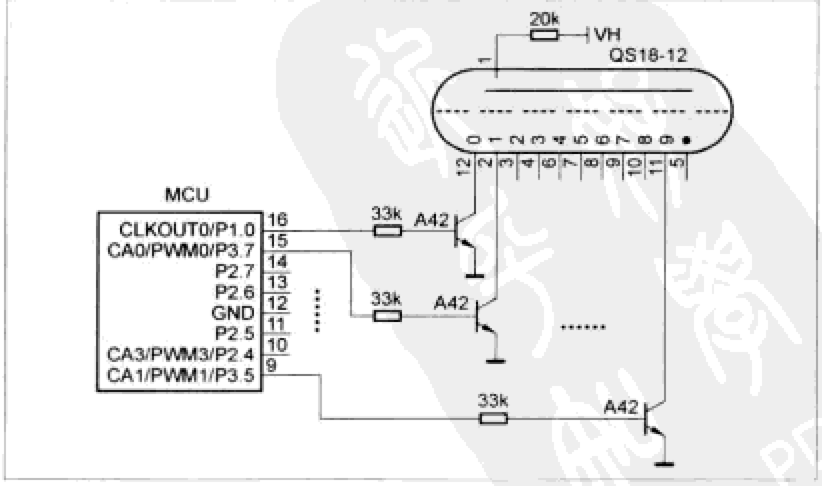


图4 简单的单片机控制辉光管电路连接

全部数字显示驱动，节省了单片机的IO，也省去了60个三极管和60个电阻组成的驱动电路，驱动电路见文章后的电路原理图。

单片机选用了STC的12C5624AD，只需要7个IO口即可满足HV57708PG的通信要求，通过这7个IO口进行串行通信来配置HV57708PG的64个IO口的输出状态（具体通信时序请见HV57708PG的规格书）。

HV57708最高输出电压为80V，所以在它的高压输入脚VPP上，我们使用一颗75V的稳压管，将输入高压钳位在75V。当HV57708PG的输出为低电平0V时，辉光管对应阴极与阳极的电压差为170V，高于辉光管的启辉电压，相应的数字发光显示；当HV57708PG的输出为高电平（75V）时，辉光管对应阴极与阳极的电压差为95V，低于辉光管的熄灭电压，相应的数字熄灭。

有了驱动6个辉光管的驱动电路以后，我们只需要根据单片机采集到的时间信息，将相对应的辉光管内部的数字点亮，即完成了时钟显示的功能。

GPS校时原理与应用设计

GPS（即全球定位系统）是20世纪70年代由美国陆、海、空三军联合研制的新一代空间卫星导航定位系统，该系统包括21颗正式工作的卫星和3颗活动的备用卫星，每颗卫星上配备两台铯原子钟和两台铷原子钟，如果能与GPS卫星上的时间保持同步，那么我们将得到的是一个理论上准确至纳秒级的时间信息。

GPS接收机，如图5所示，属于GPS系统应用层的一个数据接收及解码设备，只要接收机处于工作状态，它就会源源不断地把接收并计算出来的GPS导航定位信息通过串口传送出来。在这里我们通过对GPS接收机传送来的各种信息进行分析和提取，就可以得到准确的与GPS卫星同步的日期和时间数据。

和其他通信过程类似，对GPS进行信息提取必须明确通信协议。NMEA协议就是为了在不同的GPS导航设备中建立统一的BTCM（海事无线电技术委员会）标准，由美国国家海洋电子协会（NMEA——The National Marine Electronics Associa-tion）制定的一套通信协议。

GPS接收机通过RS232-TTL转换电路以后，能够将数据源源不断地发送给单片机，这些数据中包含卫星信息、定位信息、速度信息、状态信息等。数据主要由帧头、帧尾和帧内数据组成，根据数据帧的不同，帧头也不相同，主要有"$GPGGA"、"$GPGSA"、"$GPGSV"以及"$GPRMC"等。这些帧头标识了后续帧内数据的组成结构，各帧均以回车符和换行符作为帧尾标识一帧的结束。

在这里，我们只需要获取日期和时间信息，所以我们需要通过软件，将帧头为"$GPGSA"和"$GPRMC"的信息提取出来。其中，首先要提取的信息是帧头为"$GPGSA"的信息，即"当前卫星信息"。

具体协议格式如下：

$GPGSA,<1>,<2>,<3>,<3>……<3>,<3>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7><CR><LF>

<1>模式：M = 手动，A = 自动

<2> 定位型式 1 = 未定位，2 = 二维定位，3 = 三维定位

<3>PRN 数字：01 至 32 表示天空使用中的卫星编号，最多可接收12颗卫星信息

<4> PDOP位置精度因子（0.5~99.9）

<5> HDOP水平精度因子（0.5~99.9）

<6> VDOP垂直精度因子（0.5~99.9）

<7> Checksum（检查位）

每次得到该信息后，检查当前的"定位形式"数据，如果"定位形式"为1，则表明当前GPS接收机正与GPS卫星连线中，并未成功定位；如果"定位形式"数据为二维定位或三维定位，则表明GPS接收机已经成功接收GPS卫星信息，并计算出位置数据，此时GPS接收机的时间已经与卫星同步并更新。

然后我们需要提取帧头为"$GPRMC"的信息，即"推荐定位信息"，具体协议格式如下：

$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*hh<CR><LF>

<1> UTC时间，hhmmssmmm（时、分、秒、毫秒）格式

<2> 定位状态，A=有效定位，V=无效定位

<3> 纬度 ddmm.mmmm（度分）格式（前面的 0 也将被传输）

<4> 纬度半球N（北半球）或S（南半球）

<5> 经度 dddmm.mmmm（度分）格式（前面的 0 也将被传输）

<6> 经度半球E（东经）或W（西经）

<7> 地面速率（000.0~999.9 节，前面的 0 也将被传输）

<8> 地面航向（000.0~359.9°，以正北为参考基准，前面的0也将被传输）

<9> UTC日期，ddmmyy（日、月、年）格式

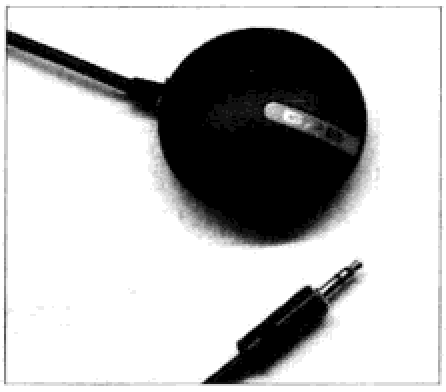


图5 GPS接收机

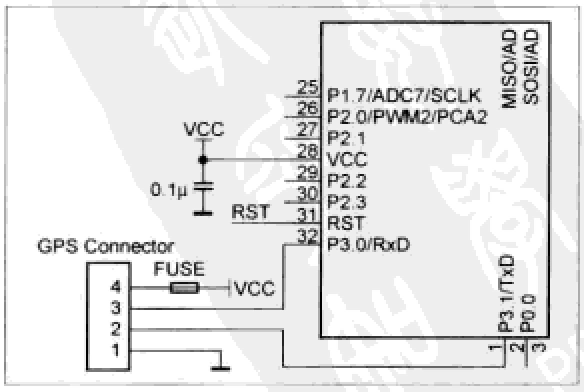


图6 GPS接收机与单片机的接口电路

<10> 磁偏角（000.0~180.0°，前面的0也将被传输）

<11> 磁偏角方向，E（东）或W（西）

<12> 模式指示（仅NMEA0183 3.00版本输出，A=自主定位，D=差分，E=估算，N=数据无效）

获得该信息后，即可将当前的UTC时间和UTC日期提取出来，即为当前的准确时间（时间精确至毫秒）。

这里选用的是最常见的普通GPS接收机，它通过4条连接线与时钟连接（VCC、RXD、TXD、GND），其中2条是电源，2条是TTL电平信号。假如选用的GPS接收机是标准RS232接口，需要使用RS232-TTL电平转换电路转换后连接单片机，具体电路连接如图6所示。按照这样连接以后，单片机串口就能够收到GPS发送来的信息数据。获取准确的时间信息后，还有一个计算步骤需要注意：从GPS信息里获取到的时间信息是格林尼治时间，我们需要根据当前所在的时区，将其换算为当前时间。

例如，从GPS接收机获取到一条包含有时间信息的数据：

$GPRMC,213201.236,A,2307.5573,N,11323.3638,E,2.65,348.60,040411……A*65

可知当前的格林尼治时间即GMT+0的时间为21:32:01.236，日期为11年4月4日。换算成北京时间，即GMT+8的时间后，为05:32:01.236，日期为11年4月5日。计算全球各时区时间需要根据需要对日期进行变更，尤其是在月初及月末和每年的最后一天与第一天，要注意大小月份与闰年、闰月的日期变更特点。

电路原理图

本时钟还采用了DS3231SN作为高精度的时钟源，DS18B20用于室内温度采集，LPD68303控制全彩的RGB发光二极管产生各种颜色的背景灯，整个电路的原理图如图7所示。

结束语

虽然辉光数码管现今已失去广泛的应用价值，但制作成时钟，结合现代的数字电路控制技术及GPS高精度校时功能，可谓是古典与现代的完美结合。

具体制作及焊接过程本文不再叙述，文章所需用程序及电路图文件可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

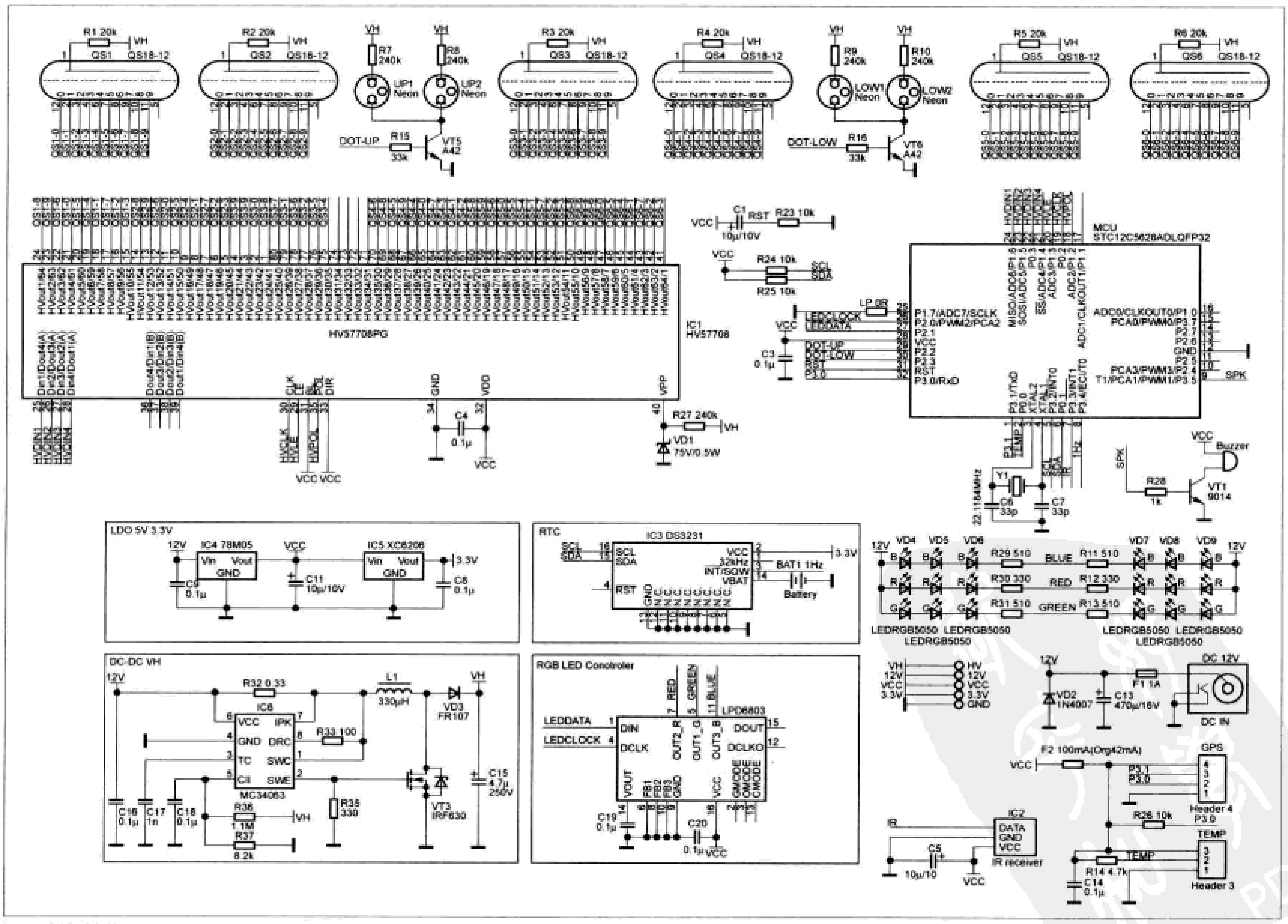


图7 电路原理图

◎孙德庆

蝴蝶结变声器

《名侦探柯南》中的蝴蝶结变声器是款有趣又屡立奇功的道具，其实在现实中我们也可DIY它。使用我们介绍的这款变声器，使用者可以把自己真实的声音伪装成7种不同的声音，还可以选择叠加上颤音的效果。它可以把原本的声音提高3个音高或者降低3个音高，因此伪装成另一个性别的声音也是可能的。除此以外，用它实现机器人的说话效果也是很有意思的。这款变声器特别适合用在电话上，来“愚弄”电话另一头的人，呵呵，开个玩笑。

这种语音的变化并不是简单的调频等操作能够完成的。一般来说，如果需要自行处理声音，需要电路具有比较强的运算能力来支持，往往是使用DSP一级的芯片来参与运算。但是对于爱好者来说，这是很麻烦的一件事，所以最好选用成品芯片来完成这一操作。无论是在软件还是在硬件上，使用成品芯片都可以大大简化设计。

电路介绍

这个电路的核心是一块HT8950语音调制芯片，这款芯片可工作于2.4~4V，所以，镍氢电池、碱性电池或锂电池等均可使用。HT8950片内有8位ADC和DAC，以8kbit/s速率转换语音，存储于片内SRAM，并加以处理。同时，该芯片内置放大器和偏置电路，可以直接使用驻极体话筒，因此用户需要设计的外围电路并不多。一般来说，依照该芯片的应用指南来构建即可。我在这里同时接出了按键与拨码开关，方便调整变声模式。另外，电路中有两个电位器，一个起到输出分压的作用，用于调节音量，另一个接在话筒反馈回路上，调节话筒灵敏度。具体电路如图1所示。

HT8950本身不具有大功率输出的能力，所以直接驱动扬声器是有困难的。使用三极管放大或者常用的LM386等集成功放芯片均可完成任务，这里，我使用了HT82V733集成功放芯片。这款芯片的工作电压范围较HT8950更宽，而且外围元件少，可输出240mA电流，可以轻松驱动扬声器，发出声音。

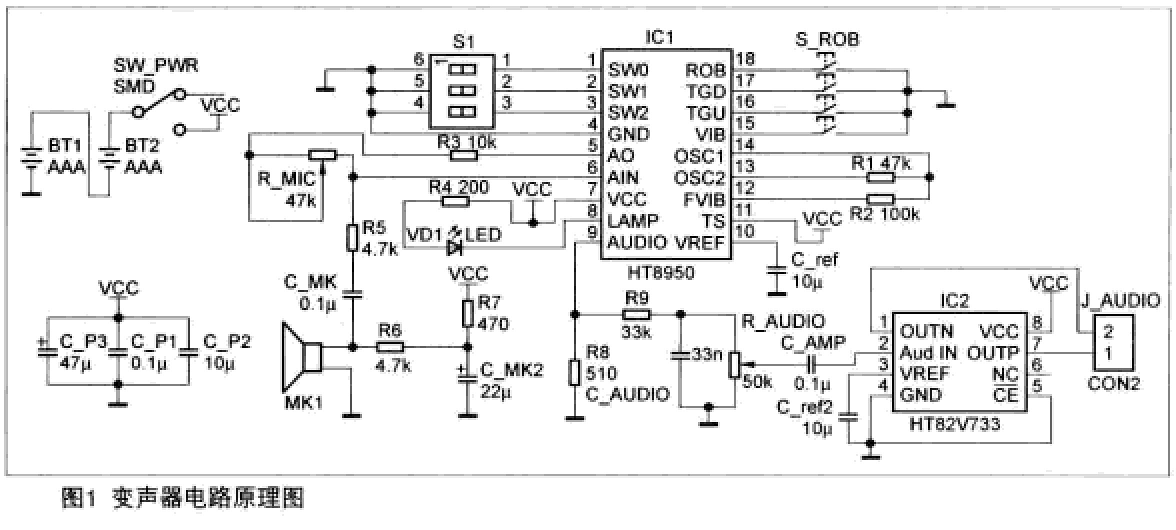


图1 变声器电路原理图

通常，将电路组装好后，装上电池，这个电路就可以正常工作了，只需要调整电位器，让电路工作在最佳状态即可。

需要注意的是，与其他功放系统一样，在扬声器到话筒的反馈足够强时，会发生啸叫。为解决这一问题，可以尽可能地拉开扬声器与话筒的距离。另外，话筒与电路板间最好采用软质线连接，以避免扬声器发出的声音，通过电路板耦合到话筒上。还可以在话筒上加一个喇叭型的集音罩，以增强话筒的方向性。当然，采用外置话筒和扬声器，可以彻底避免这个问题的发生。

使用方法

将3个拨码开关全部断开，就可以使用按键控制芯片的功能。按“上、下”键可以升高或降低音调，各有3级可选，还可以直接按“Robot”键，直接返回机器人音调。在当前芯片状态下，按下“上、下”键，对应的下一个状态可以在PCB右下角的环形图上看到。如果想固定在一个

音调上，也可以直接拨动拨码开关。拨码开关所对应的二进制值在环形图上也有对应的标识。另外，按下“Vibrato”键，可以在当前状态下叠加颤音效果。

选择好需要的音调后，对着话筒说话，电路就会将变声后的声音用扬声器播放出来。无论变得低沉有力，还是婉转动听，电路都可以实现对应的效果。如果发生啸叫，可以适当降低扬声器的音量，并设法减少扬声器到话筒的耦合。还可以将输出线直接焊至其他设备（如电话或录音机）上，直接送出变声之后的声音。

外形设计

不可否认，这块变声器的外形设计受到了日本漫画家青山刚昌的作品《名侦探柯南》的影响。当然，像漫画作品里那样能够将声音转化为任意指定目标的音色，目前还没有成熟的算法。电路板选用蝴蝶结的形状后，从对称上考虑，将扬声器放置于电路板中心。电源采用两节7号电池，方便获得与更换。电池斜向安装在电路板一侧，可以更有效地利用印制板空间。

制作要点

为使电路尽可能美观，需要减少过孔的数量，因此，贴片元件是首选。一般来说，对于分布参数要求不高的电路，可以用面包板做原理验证，之后的最终定稿电路就可以大量使用贴片元件。贴片元件最大的好处是无需剪脚，能有效减少组装的工作量。此外，还能大幅减少PCB的面积，节省打板费用。而且，贴片元件焊接后没有尖刺，不扎手，对于没有外壳的电路板来说，既方便拿取，还显得整洁。如果使用热转印或感光板方式自制PCB，使用贴片元件进行原理验证也是很方便的。

使用贴片元件进行制作时，一般选用0805规格的阻容元件，由于业余制作的电压往往不高，所以无需选择较大封装的。另外，0805封装可以直接用于洞洞板焊接，尺寸合适。但0603封装以下，手工焊接就开始出现困难。焊接贴片元件时，使用尖头调温焊台效果较好，既可避免温度过高，损伤元件和PCB铜箔，也能使操作更加精确，但熟练后使用其他规格的烙铁亦可。做好的实物电路如题图所示。元器件布局细节如图2所示。

图2 实物电路细节

Tips：算法介绍

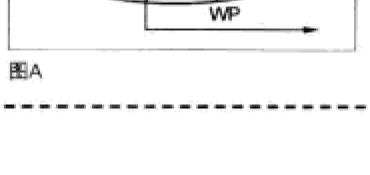
声音的变调是很常见的现象，尤其是在模拟时代，对磁带加速或减速播放，就可以听到声音的音调发生变化。但是这种简单的变调会导致声音的长度发生变化，所以需要运算来解决这一问题。

需要注意的是，音调移动与频率移动不能混为一谈。频率移动的方式比较简单，使用调制方法就可以获得，但是频率移动后声音的频谱并没有扩张，而进行音调移动后声音的频谱却扩张了。所以音调移动保留了原来的谐波成分，而频率移动则破坏了谐波。因此，频率移动后的音效具有很强的金属感，作为特效音很不错，但对于任何一个非正弦的谐声来说，都不是一个好方法。

现在，我们往往使用数字信号处理来实现音调移动，主要采用相位声码器(Phase Vocoder)以及时域谐波缩放(Time Domain Harmonic Scaling)等算法。但显然，这些强大的现代算法，无论是在设计难度，还是能量消耗上，都不适合爱好者仿制，下面我为大家介绍一种elm-chan(http://elm-chan.org/works/vp/report.html)使用的简化算法。

Chan使用的方法有点类似于磁带。他建立了一个环形缓冲器，见图A。它的写入速度是一定的，但读取速度可变，因此声音的音调就会变化。为减少节拍失真，读取指针在累加时，需要保留小数部分，减少误差。在升调过程中，声音会欠采样，并出现混叠失真，但事实上，基本听不出来。

因为环形缓冲器的长度是有限的，读取指针（RP）可能会超越写入指针（WP）。在这种情况下，整个缓冲器的声音会被插入或移除。缓冲区的长度会影响听觉效果，



图A

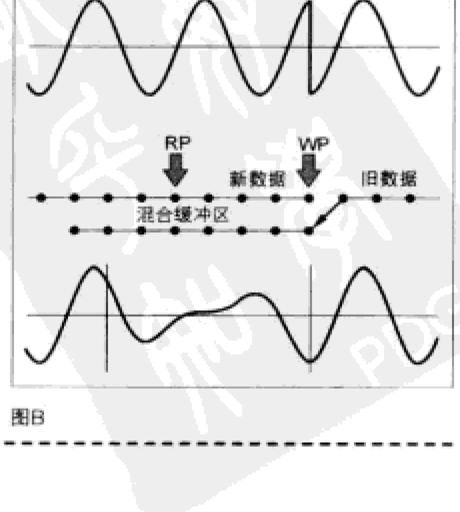
过长的缓冲区会造成音节的缺失或重叠。实验表明，语音信号使用 20ms 就很合适。

图B中以写入指针为参照，观察读取指针。当读取指针超越写入指针时，这种波形的不连续会造成“喀喀”声。为了抑制这种效应，在数据切换时使用交叉淡入淡出的方式。被挤出的数据存储在混合缓冲区里，与环形缓冲区的另一端相重叠。交叉淡入淡出在经过这段区域的32个采样时间内完成。

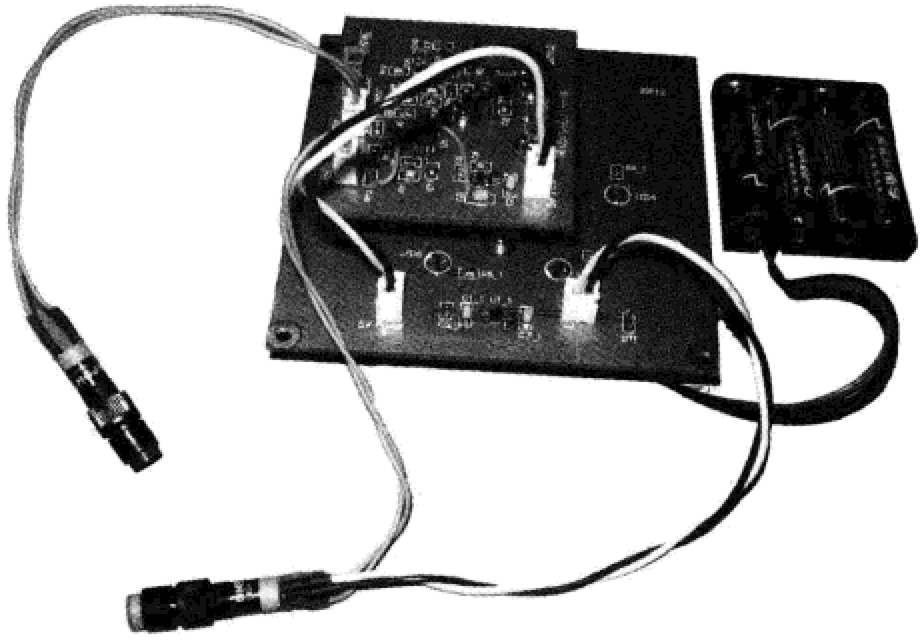
为实现颤音效果，动态改变读取速度即可。只要缓冲区不要太小，读取指针不会超越写入指针。

为实现机器人效果，可以使用平衡调制的方法。简单来说，就是在载波上乘一个0~1200Hz的正弦波。那些增加出来的频率成分就可以实现机器人声的效果。

使用以上算法，HT8950能够实现的功能也可以使用单片机完成。只要具有足够的内存空间、ADC以及DAC，使用软件实现这些功能并不困难。另外，如果需要使用计算机完成变调， Voice Changer或者Cool edit一类软件都是不错的选择。



图B



家用便捷 黄曲霉菌监测器

◎王丕立

如今，食品安全问题日益受到重视。大家经常食用的花生、玉米很容易被具有高毒性、强致癌性的黄曲霉菌污染，而一般家庭又不可能拥有专业设备来检测食品是否安全，本文提出了一种并不复杂的设计，电子制作爱好者自己动手，就可以DIY一款小仪器，监测食物中的黄曲霉菌含量是否超标。

目前，黄曲霉菌的监测主要是采用生物和化学的方法，并且主要应用在医疗和科研中。家庭中，特别是南方农村的家庭中，由于食品储存不当，很容易滋生黄曲霉菌，致使很多人患病。为了食品安全，我以国家规定的食品所含黄曲霉菌标准为阈值，在多次实验的基础上，做成了这一小巧的家用黄曲霉菌监测器，它能帮助家庭检测出黄曲霉菌超过国家标准的食品，如花生、大豆、食用油等。

原理探索

每一种物质都有其特定的光谱，所以我想到了用光谱法通过观察黄曲霉菌毒的吸收光谱来测定食品中黄曲霉菌的含量。为此，我查阅了两个方面内容：黄曲霉菌毒的光谱在什么条件下获得？黄曲霉菌毒的含量光谱如何表现？

通过查阅相关资料可以得知：可能黄曲霉菌没有极性官能团，即黄曲霉菌很稳定，所以光照射它，它的键不断裂，吸收光谱几乎看不见，但它有毒时就有荧光效应。于是我便开始研究如何制作基于荧光接收基础之上的黄曲霉菌毒监测器。

监测器的工作流程图如图1所示。

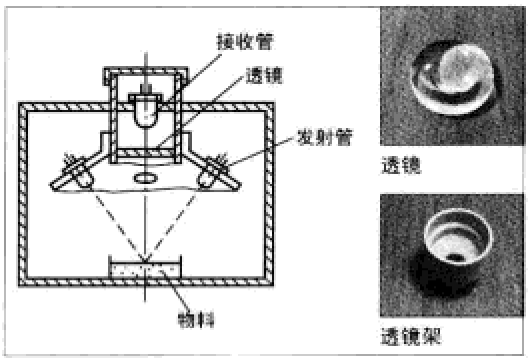


图3 透镜、透镜架的安装方法与实物图

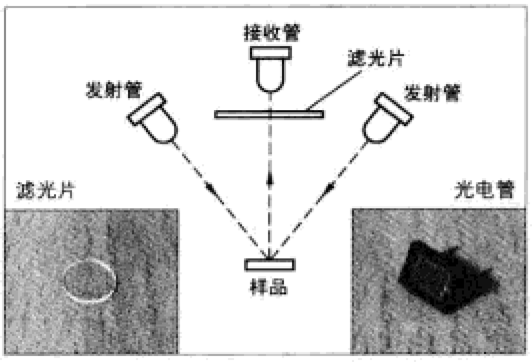


图4 光电管、滤光片的安装方法与实物图

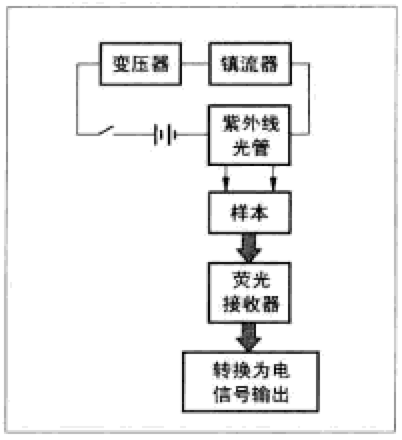


图1 黄曲霉菌监测器的工作流程图

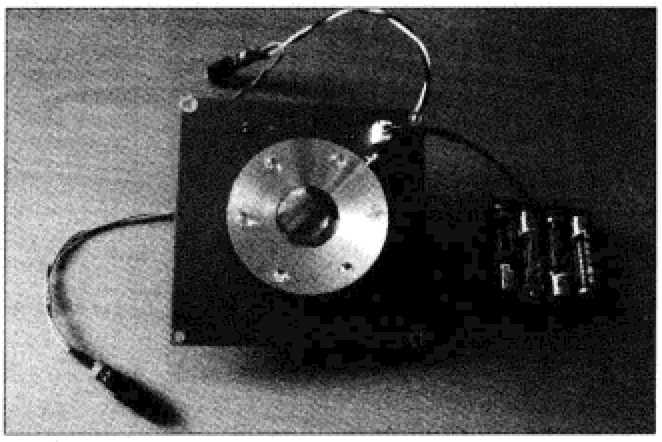


图2 发光二极管的安装位置

设计要点

1. 用产生365nm波长紫外线的LED发出紫外线，然后照射含有黄曲霉菌毒的食品，激发出荧光。图2中央部分是连接在管架上的6根发光二极管，连接有电源、指示灯、报警灯等。

2. 由于击中黄曲霉菌毒的紫外线转化为荧光的效率只有 18%，荧光强度是非常弱的，我们用了一个 25mm×25mm 的透镜，让尽量多的荧光到达接收管，增强其输出信号。安装方法及实物如图 3 所示。

3. 为了阻止紫外线进入，在接收端的光电管外安上了436nm窄带滤光片。安装方法及实物如图4所示。

4. 将光信号转化为电信号接收时，发现荧光没接收时有暗电流存在，因此在电路中安了个除去暗电流并放大电信号的低噪声放大器AD8605，其电路图如

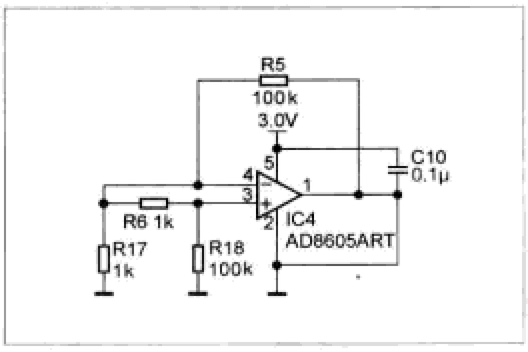


图5 低噪声放大电路

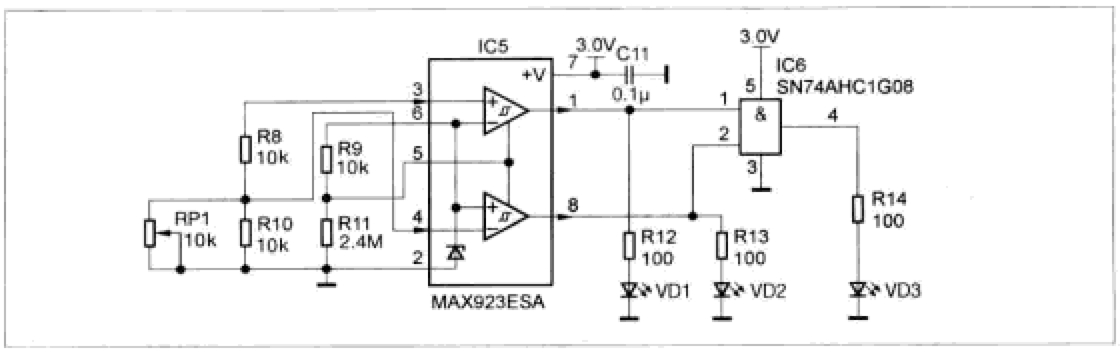


图6 比较电路，其中MAX923ESA为比较器，SN74AHCIG08是与门电路

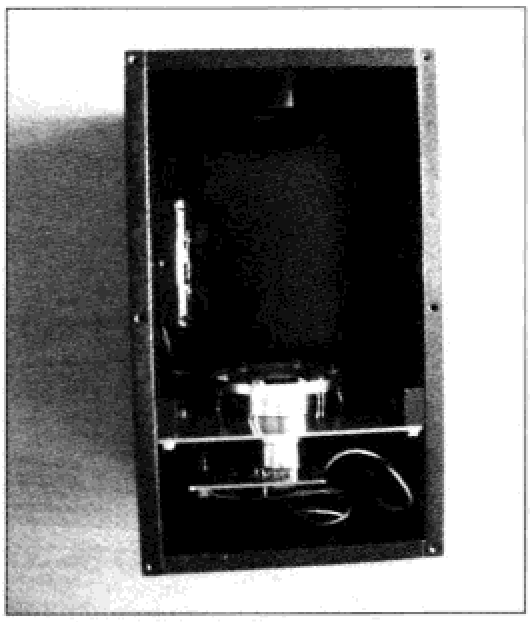


图7 监测器内部结构实物图

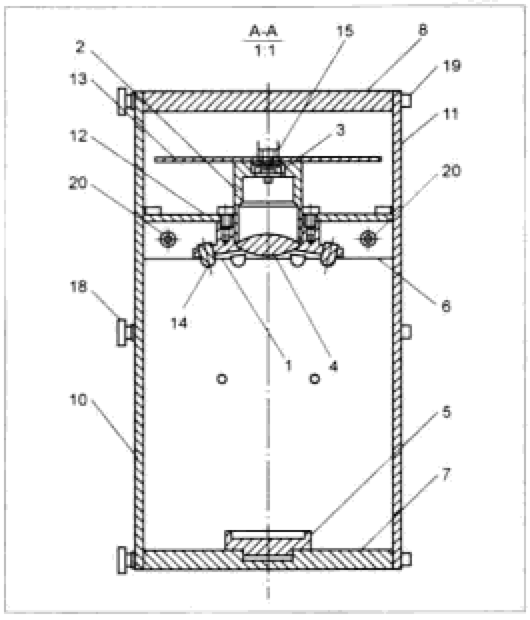


图8 监测器内部结构图

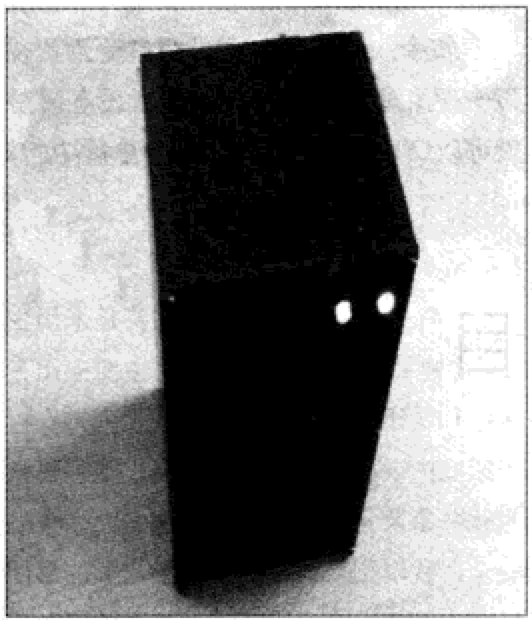


图9 监测含黄曲霉菌超标的食品时指示灯亮

表1 监测器内部各部件名称

项目	名称	数量	材料
1	灯架	1	铝-6061
2	镜座	1	铝-6061
3	滤镜	1	玻璃
4	透镜	1	玻璃
5	样本托	1	铝-6061
6	侧板块	2	铝-6061
7	底板	1	铝 -6061（AHC）
8	顶板	1	铝-6061
9	侧板	2	铝-6061
10	前板	1	铝-6061
11	后板	1	铝-6061
12	发射电路板	1	聚芳醚酮树脂
13	接收电路板	1	聚芳醚酮树脂
14	LED	6	聚芳醚酮树脂
15	S1227-66BR光电二极管	1	缩醛树脂，黑色
16	AP8M111指示灯（红）	1	缩醛树脂，黑色
17	AP8M111指示灯（绿）	1	缩醛树脂，黑色
18	GB 834 M3×6螺钉	6	低碳钢
19	GB/T 70.1 M3×6螺钉	19	低碳钢
20	GB/T 70.1 M3×12螺钉	12	低碳钢
21	电池盒（7号×4）	1	不锈钢

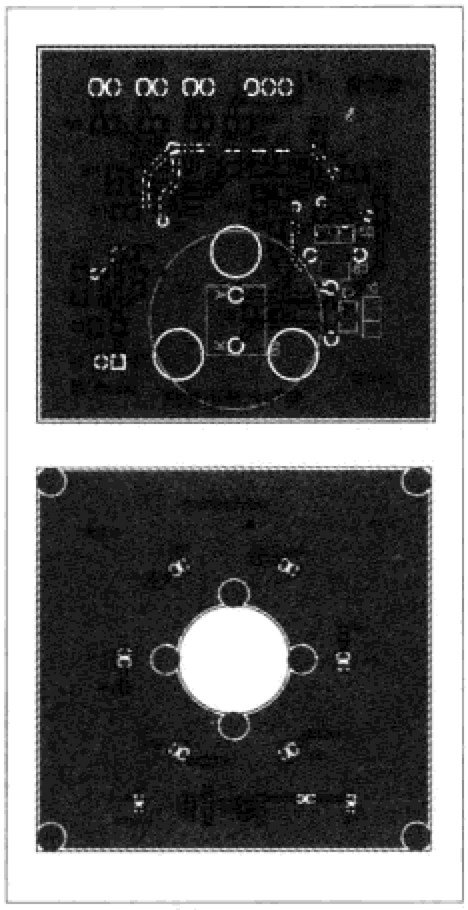


图10 刻蚀的发射板、接收板

图5所示。

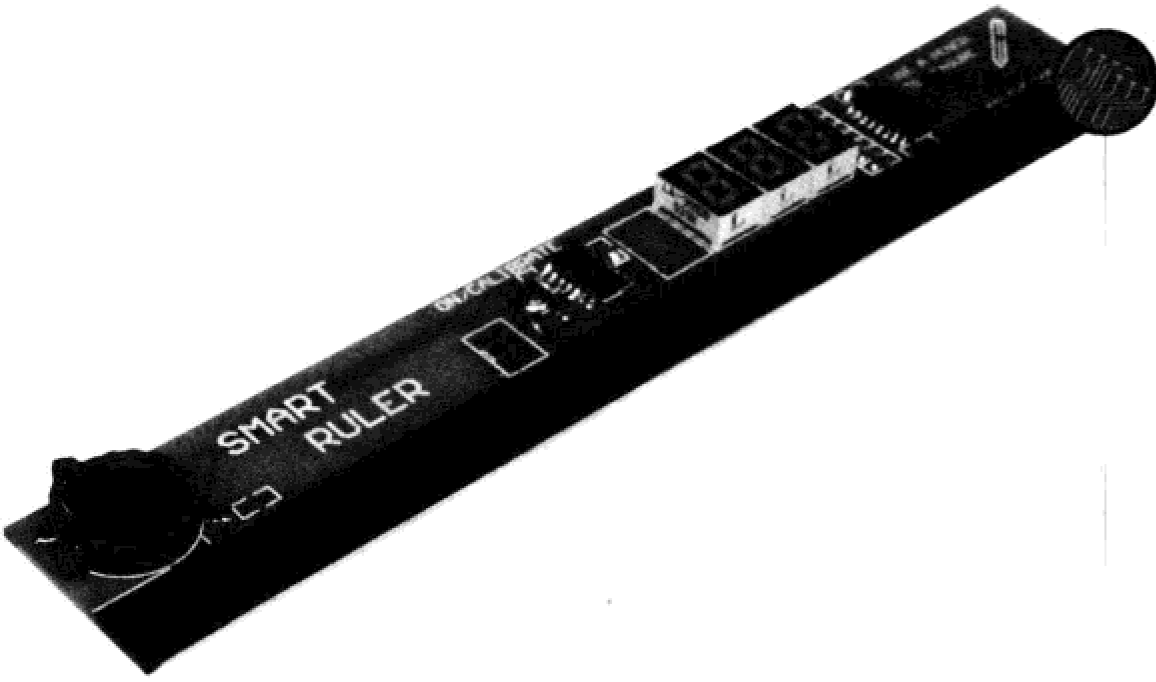
5. 安装低噪声放大器后，我将显示器改为了报警器，安装了一个比较电路，并用黄曲霉菌含量为国家规定的临界值的食品为样本，多次试验，测得此时电流为12mA。我们将这个值设为电流阈值，当信号强度超过这一值时，比较器翻转，报警灯亮，提示超标。电路图如图6所示。

食品的准备方法：从长沙生物研究所买来10μg黄曲霉菌，取2.5μg均匀放入质量特别好的半斤新米中，就刚好达到国家规定的黄曲霉菌的最高限量。

6. 为了不漏光，将所有装置封装在一个密闭的喷了黑色油漆的铝制箱中，只有一个面板可用手拧下螺钉卸下。将样品放入食品槽中再拧上盖板即可检测。图7、图8所示是监测器盖门打开后的内部结构图，表1所示是结构图各部件名称。图9所示为实际监测效果。

做把智能直尺

◎孙德庆



当要测量长度时，直尺常常是我们的首选工具。但是直尺的读数，需要我们一格一格地去数，有时总感觉不那么方便、快捷。现在市场上有很多的数显游标卡尺，价格不贵，也很精确。只是用这种数显游标卡尺测量纸面上图形时，又有一种微妙的违和感。为了解决这一问题，我设计了这把能够自动读数的直尺，能让我们用普通而自然的方式，方便地读取测量的长度值。

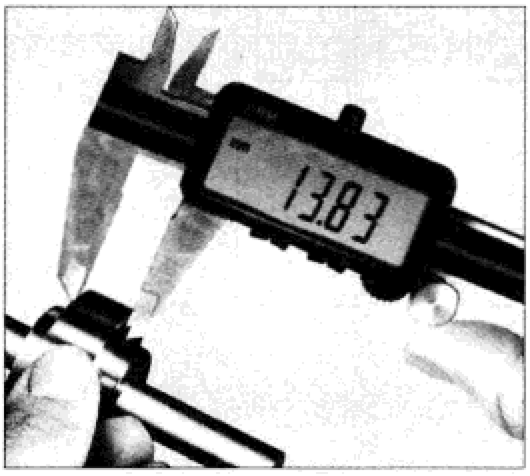
这一智能直尺设计的灵感来自于以色列设计师Shay Shafranek所设计的电子尺。根据设计师网站上的简要介绍，他的最终版设计是利用笔尖的导电性使电阻上流过电流，然后通过测量电压的变化，得出笔尖的位置。

但是这种方法略显复杂，需要使用大量的电阻和插针，组装工作量也非常大。所以，我的设计直接采用了电阻分压的方式，用较少的零件来实现位置数据的测量与读取。

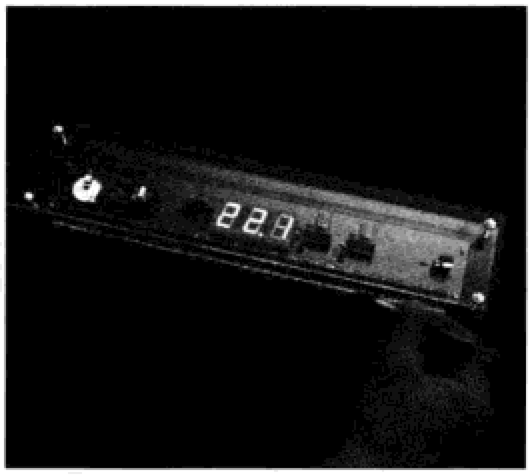
电路原理

这个电路的核心是一块ATTINY24单片机，用CR1220供电。通过一片74LS595扩展I/O口驱动数码管显示。在不工作的情况下，单片机进入深度休眠，以节省能量。需要工作时，使用按键唤醒。

完成这个电路制作需要的元器件如表1所示。



数显游标卡尺



Shay Shafranek设计的电子尺

测量原理

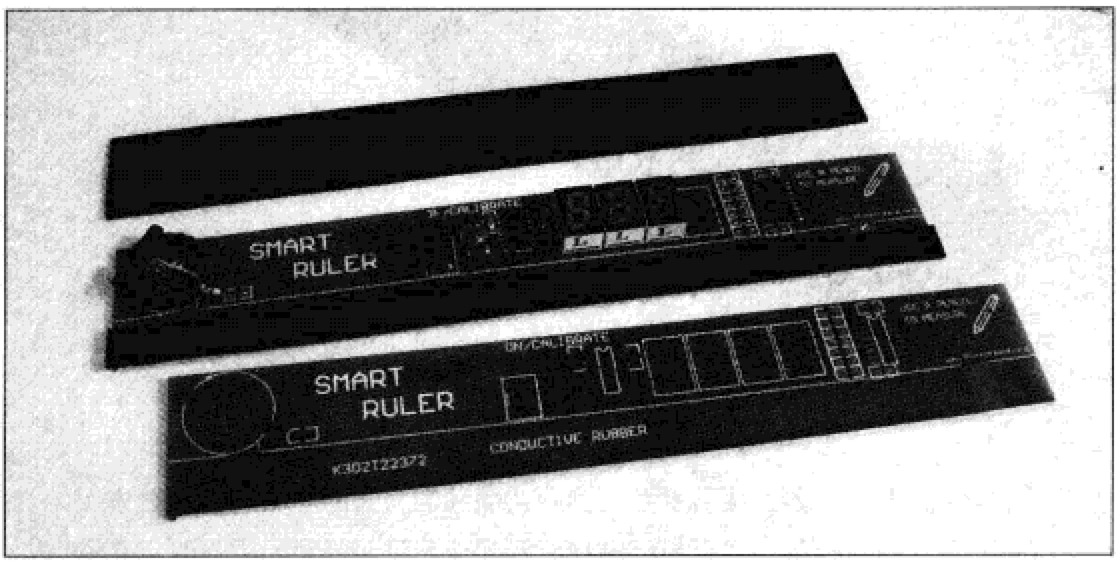
直尺的最下端是一个金属化的长条以及一条导电橡胶。导电橡胶大多使用导电碳黑与硅橡胶掺杂，一般应用于液晶屏的压接，拆开1602液晶屏模块就可以在液晶屏和控制电路之间发现它。它是一种柔性导电材料，而且具有一定的电阻。我们基本可以认为导电橡胶的电阻是均匀分布的，而金属条电阻为零。如果在导电橡胶两端加上电压，橡胶上的任一点电压是按距离均匀变化的。这二者可以形成一个电位器。那么，电位器中间抽头的电压就表示了中间抽头的位置。

表1

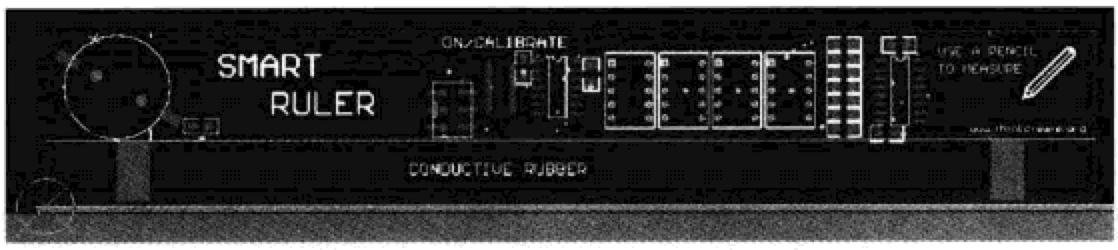
元件	数量
Attiny24	1
74LS595	1
LA-301DB	3或4
200Ω 0805	8
0.1μF 0805	1
0.01μF 0805	3
按键开关	1
电池座	1
导电橡胶条	1

为了确认测量的位置，需要借助铅笔。首先，要获知笔尖是否已经接触到了直尺。在没有接触的情况下，电路等效为中间抽头与电位器断开。在这种情况下，可以将导电橡胶两端接地，这样导电橡胶任意一点的电压都为零。此时，如果将中间抽头对应的I/O口置为弱上拉，那么这一I/O口电压的降低就表示笔尖已经接触到直尺。反之，如果I/O口电压为高，就可以让直尺继续等待笔尖的接触。

检测到笔尖的接触后，将导电橡胶



制作好的PCB和等长的导电橡胶



我设计的PCB，按直尺形状，把电路布设到了一个150mm × 25.4mm的印制板上

两端分别接高电平和低点平。中间抽头就可以返回当前的分压值，并可以直接使用ADC进行转换。这个电压值代入一次函数运算后，就可以转换为位置量了。由于这把智能直尺具有运算能力，所以不需要设置绝对零点。只需要计算两次笔尖位置的电压差，算出距离并显示出来即可。在这把直尺中，两个端触点距离12cm，ADC的基准电压取VCC，而导电橡胶两端的电压与基准电压相同。在这种情况下，电源电压的绝对值就不重要了。ADC返回的值实际上是目标电压与基准电压的比例，这个值正好对应于端点距笔尖位置的长度与导电橡胶通电长度的比例。尽管AVR具有10位ADC的采样能力，但在这个应用中，我们不需要太高的精度，所以可以抛弃低位上的转换结果。如果取高8位转换值时，那么ADC的结果每变化1，对应直尺上距离的12/256cm。只要将两次转换的数值求差，并乘12/256，就可以得到两次采样以厘米为单位度量的差值，即我们需要的距离值。

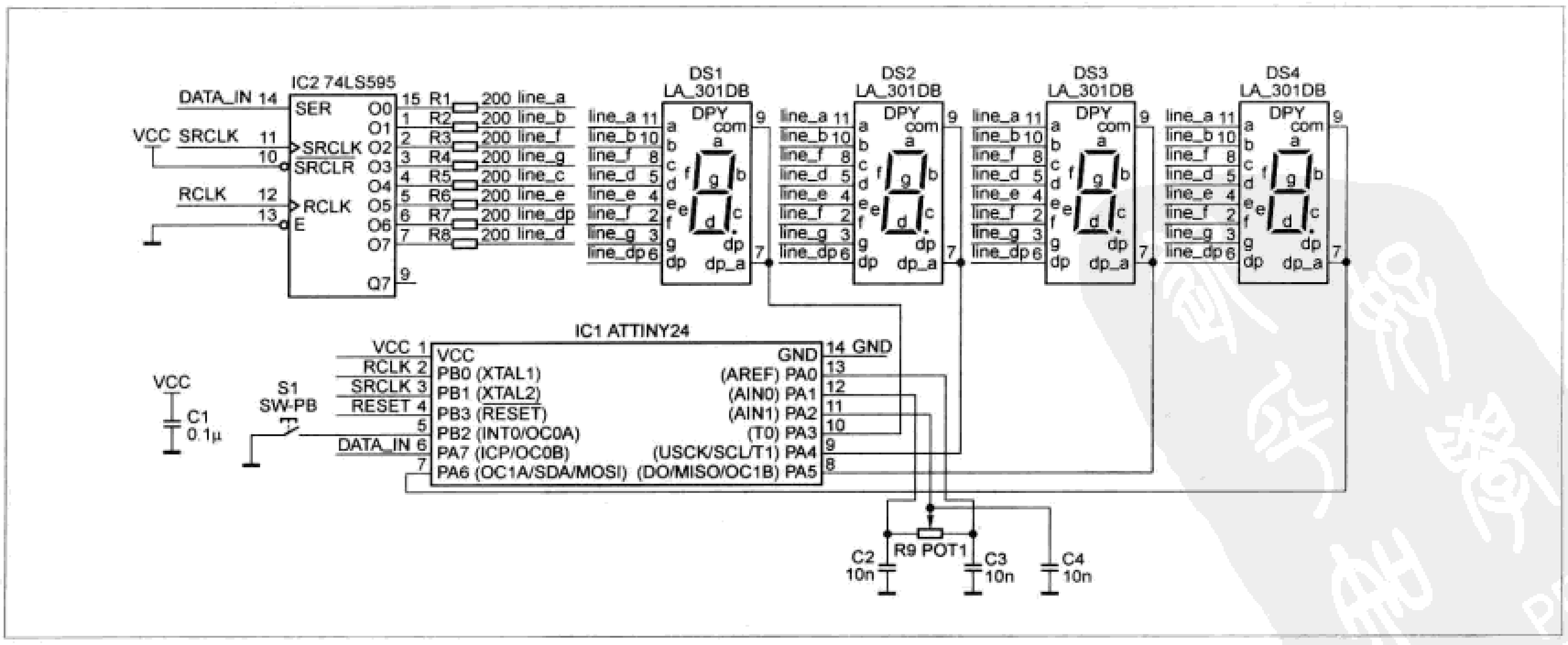
对于实际编程来说，我们可以将电阻条两端置低，然后检测金属条的电平。如果金属条的电平被拉低，就可以进入测量流程。首先，将一端置低，另一端置高，并等待数毫秒，以便各电容电压稳定，之后进行ADC采样。对于两次ADC采样值，例如200和50，首先求出它们的差150，再按照比例：

$$\frac{150}{256}=\frac{x}{120m}$$

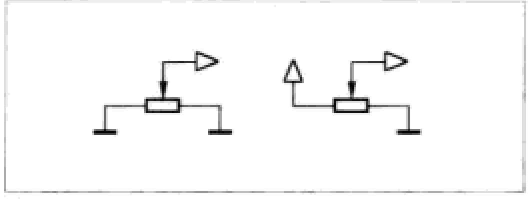
就可以求出待测的距离。之后再将这个值转化为10进制，并送到数码管显示。

制作细节

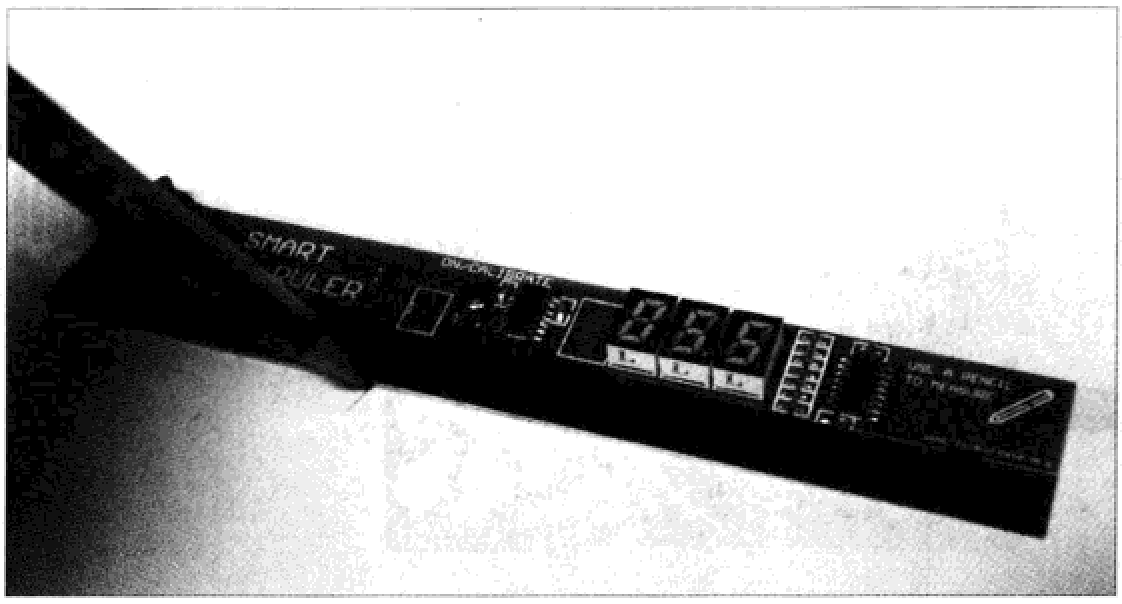
接下来要注意电路的组装。导电橡胶的触点可以稍微加锡，以形成一个凸



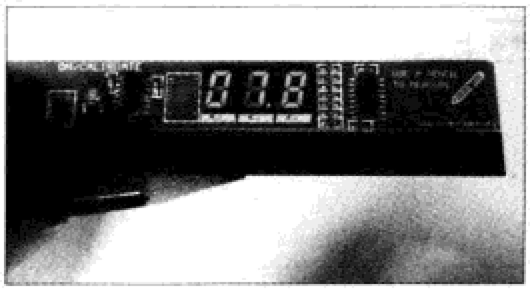
电路原理图


等效电路示意图

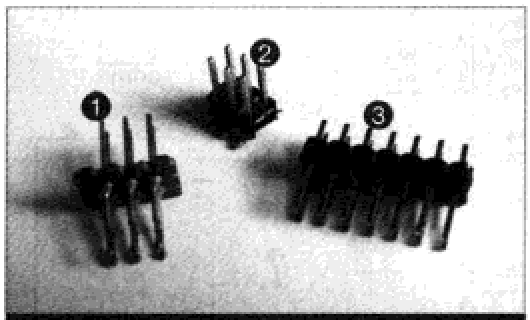
导电橡胶条，图中两个表笔之间的电阻约500Ω



■ 相关程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。


用铅笔笔尖接触测量位置

端触点



❶弹针，一般用在测试架制作中，每根针都有独立的弹簧，因此即使在不平整的表面上也能保证每根针的良好接触。
❷贴片针，两排针分别朝两边弯折，能与焊盘形成较大的接触面，使焊点牢固。
❸常见的双排针，一般用于贯孔安装。

面，用酒精擦掉表面的松香后，将触点之外的接触面贴上双面胶。双面胶贴合导电橡胶后，即可保证触点和导电橡胶的可靠接触。另外，对于侧面的导电橡胶条，可以将其上边缘用砂纸稍作打磨，使其留出约1mm的空隙，避免它与导电橡胶直接接触。导电橡胶的两端和侧面的导电条各用一个小电容连接到地，以减小干扰信号对测量造成的影响。

焊接芯片的难度并不高，电路所采用的芯片脚距都较宽，直接点焊即可，熟练的话也可拖焊。0805封装的阻容元件可以先在一边的焊盘上上锡，然后用烙铁融化锡球，同时用尖头镊子将元件送到位。在摆放位置合适后，再移开烙铁。待焊锡凝固后，可以焊接另一个焊盘。如果第一个焊盘由于焊接时间过长导致焊点不光滑的话，可以在第二个焊盘焊接好后再加点锡，使焊点光洁。

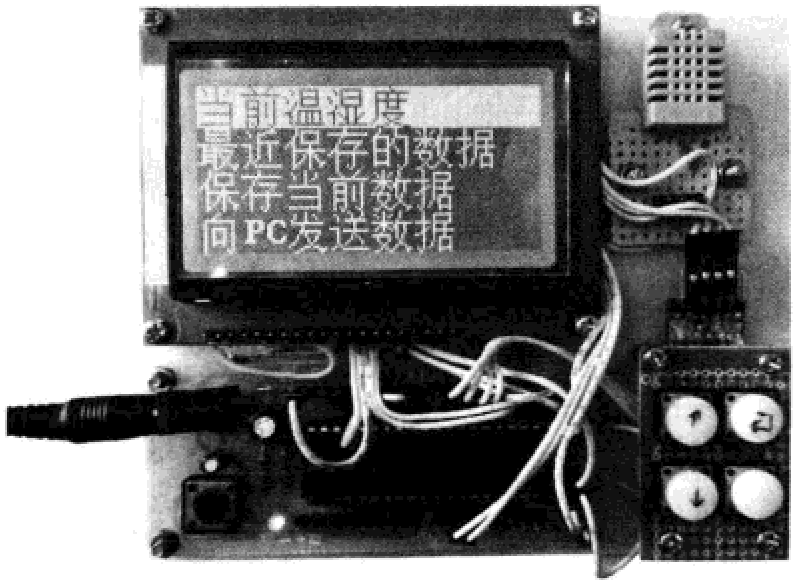
对于数码管而言，由于它是直插元件，如果不做处理直接焊接，会导致焊点突出，使直尺无法放平。因此，需要在焊接前用水口钳剪掉部分引脚。将数码管插入过孔中，引脚低于背面0.5mm左右为宜。当引脚长度剪裁合适后，将数码管插入过孔中，将电路板翻面。每个过孔少量加锡，加热1~2秒后，锡会在重力的作用下流入孔中，这样不仅可以将数码管焊好，同时保证焊点不会突出表面。

由于这块板为AVR预留的ISP下载线仅有6个焊盘，而不是常规安装插座用的6个过孔，所以无需焊接插针。当然，在程序调试的过程中，可以将贴片针或者普通插针焊接到焊盘上，来保证连接的可靠性。当调试完成后，新板的烧写，就可以直接使用弹针压在焊盘上进行烧写，以保证外观不会被插针破坏。

使用方法与效果

使用这把智能直尺时，首先按下按键激活直尺功能，然后将笔尖顶住金属化导电条，然后将笔尖向直尺方向倾斜，使笔尖同时接触导电条和导电橡胶，这样单片机的ADC就能够进行有效的采样。在做出两次有效的采样后，直尺就能够立刻计算出笔尖所触两点的距离，并在数码管上呈现给我们。

理论上，这把直尺的分辨率应该是0.5mm（取8位ADC），而实际只显示1mm的精度。在实际测试中，精度相当令人满意，与普通刻度直尺测量的没有什么差别。另外，由于采样过程可以在数毫秒内完成，数显的延迟是我们感觉不到的，所以测量过程没有任何迟滞感，非常流畅。



蓝牙无线温湿度监测系统的制作

◎赖程鹏

设计缘由

今年入夏以后气温一直很高，家里养的花草常会因为温、湿度不适宜而奄奄一息，甚至死掉，非常可惜。笔者经常坐在电脑前面工作，虽然养着些花草，却少有闲暇去照顾它们。于是，便想制作一个装置，能够实时监测盆栽附近空气的温、湿度，并且能通过蓝牙发送到电脑显示。当然电脑也可以主动查询温、湿度数据，从而在电脑前就可以实时观测花草所处环境的温、湿度，若有异常可及时处理。

系统设计原理

总体设计的框图如图1所示。通过单片机STC89C52RC从温湿度传感器AM2303读取温、湿度数据，经分析处理后，可以控制12864LCD显示，也可以通过蓝牙模块传送到电脑或者手机进行数据显示，从而实现温湿度数据的实时无线监测。硬件电路的原理图如图2所示，制作所需的元器件如表1所示。

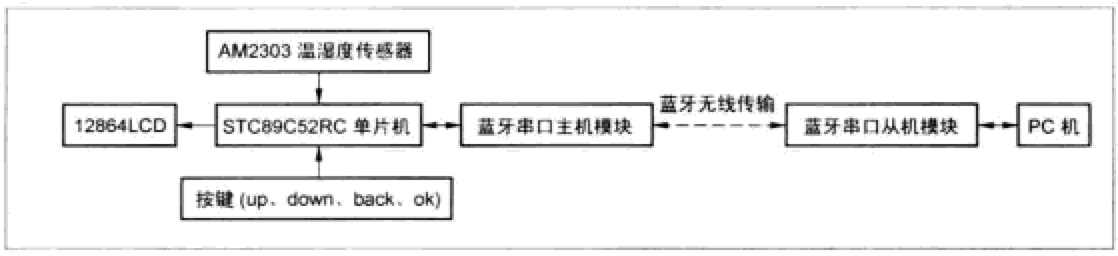


图1 系统总体设计框图

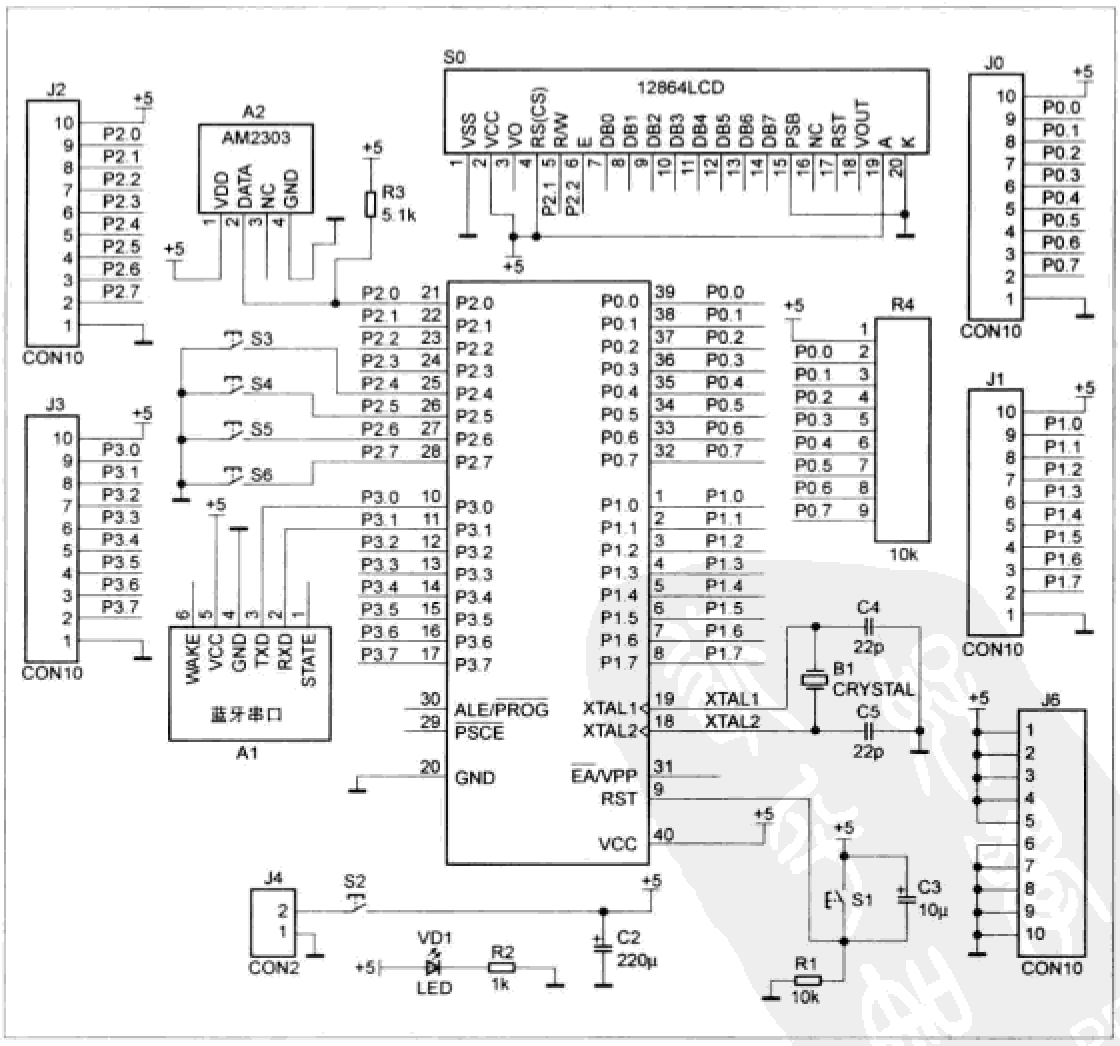


图2 系统硬件电路原理图

制作过程及模块介绍

1. 无线传输模块

由于系统需要具备无线传输的功能，而自己设计制作无线传输模块难度很大，所以大家可以使用市场上现成的无线

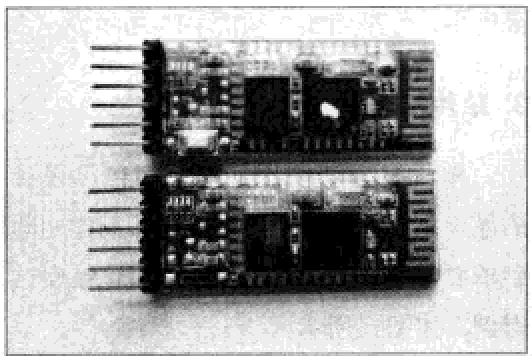


图3 蓝牙模块实物图

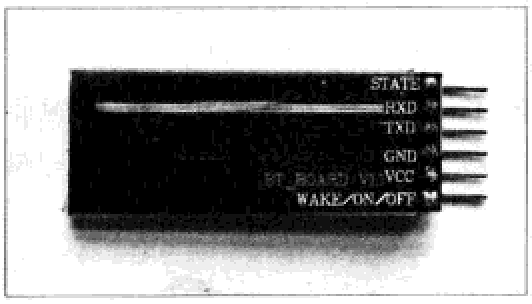


图4 蓝牙模块引脚图

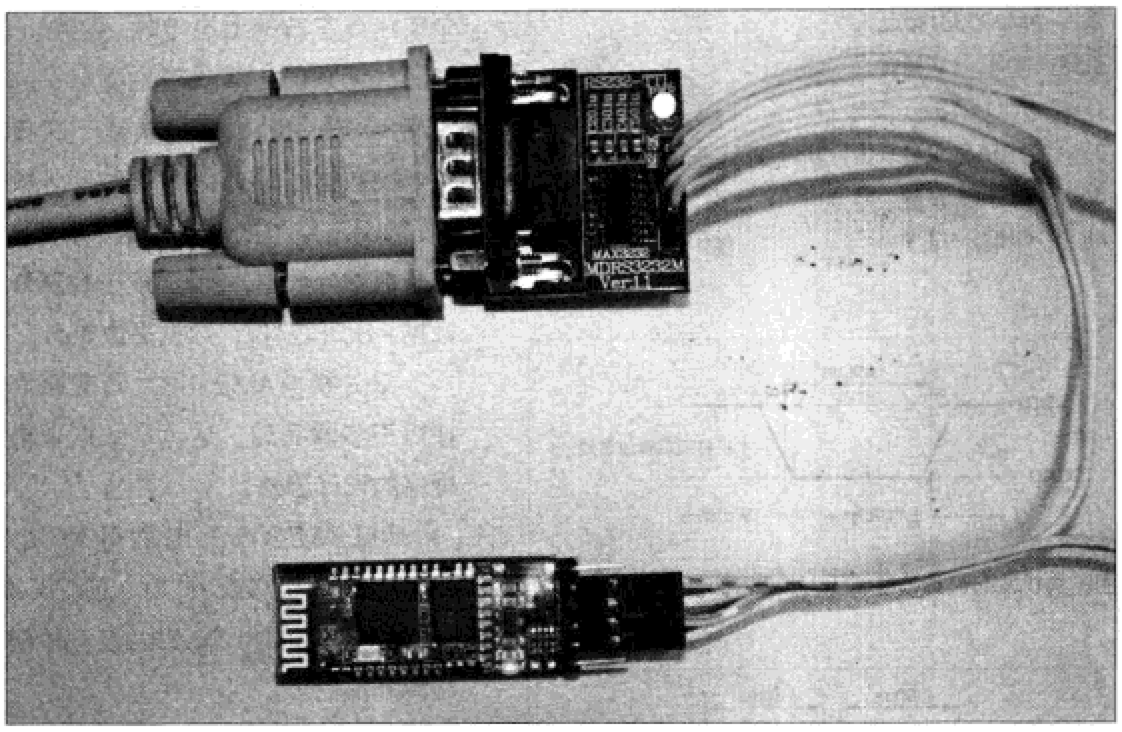


图5 蓝牙模块连接电脑

表1 元器件列表

编号	零件名称	数量
1	AM2303温湿度传感器	1
2	12864LCD显示屏（带字库）	1
3	STC89C52RC	1
4	10PIN排针	6
5	按键开关	6
6	LED	1
7	5.1kΩ电阻	1
8	10kΩ电阻	1
9	220μF电容	1
10	10μF电容	1
11	10.0625MHz晶体	1
12	22pF电容	2
13	电源插座	1
14	铜柱	8
15	螺丝	8
16	10PIN排线	2

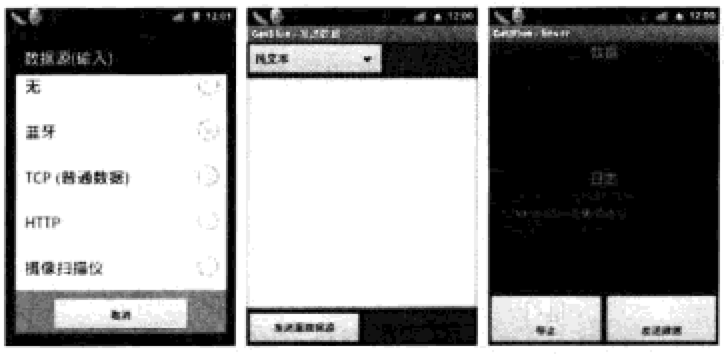


图6 从左至右依次为设置数据源、软件界面、发送数据界面

通信模块——NRF24L01，它是当前广泛使用的无线通信模块，能够组网，价格也比较便宜，使用51系列单片机进行控制相对比较容易。

本设计中，笔者选择的无线模块并不是NRF24L01，而是采用了更加简单易用的蓝牙串口模块。蓝牙模块分为主机和从机，主机能与从机配对，主机与主机以及从机与从机不能配对，手机的蓝牙也可以与从机配对。当主机寻找到密码配对吻合的从机时，能够自动配对。笔者曾经制作了一个蓝牙控制的电扇，用手机的蓝牙功能控制电扇的开关以及定时。蓝牙模块实物图如图3所示，图中上方为蓝牙主机，下方为从机，主机上的按键是重新配对按键。背面引脚图如图4所示。

主机与从机的引脚完全一样，所以整个模块面向使用者的就是大家非常熟悉的RXD和TXD引脚。使用者只需要像使用串口线一样使用它，而且完全不用考虑中间所需的蓝牙协议以及蓝牙传输的细节部分。蓝牙模块与电脑串口相连时只需要接一个电平转换电路即可，在电脑中使用串口调试助手即可实现与单片机之间的通信，实物连接如图5所示。

若是要与手机蓝牙通信，也需要手机端有软件支持。笔者使用的是Android系统的手机，安装一个叫做getblue的软件即可实现蓝牙数据的收发。手机先要与蓝牙模块配对，然后打开该软件，在设置中的“数据源（输入）”中选择蓝牙，按其提示完成设置，然后点击开始，即可连接到蓝牙模块，手机端截图如图6所示。

2. 温湿度传感器

本设计中的温湿度传感器采用的是AM2303，它是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器，内部集成了一个电容式感湿元件和DS18B20测温元件。AM2303湿度分辨率达到0.1%，温度分辨率达到0.1℃。它具有体积小、功耗低、稳定性高、数字输出、精确校准等特点。AM2303引脚图如图7所示，引脚功能定义如表2所示。

AM2303采用单总线通信，即系统中的数据交换、控制均由一根总线完成。单总线在与单片机IO口相连时需要外接一

表2 AM2303引脚定义

引脚	符号	功能定义
1	VDD	3.5~5.5V DC
2	DATA	单总线串行数据
3	NC	空脚，悬空
4	GND	接地

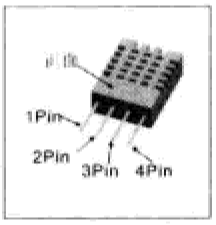


图7 AM2303引脚图

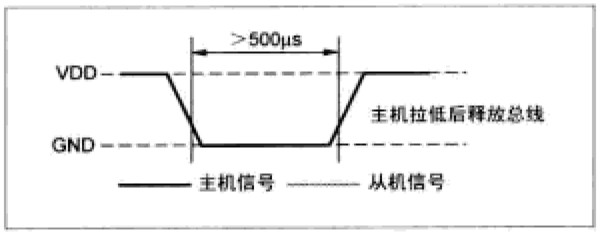


图8 主机发起起始信号

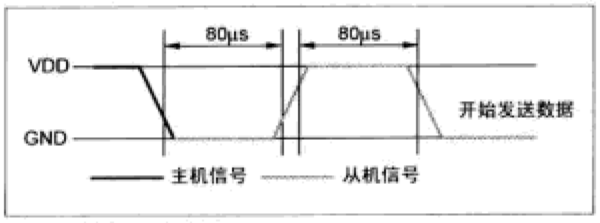


图9 应答与起始信号

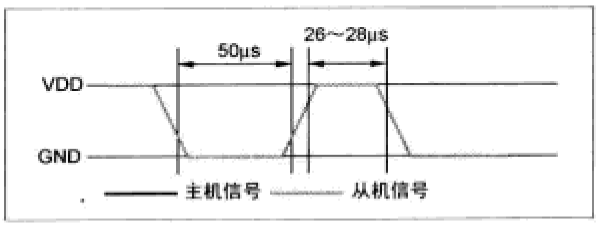


图10 位数据“0”格式

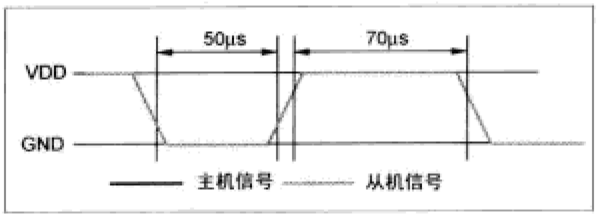


图11 位数据“1”格式

个5.1kΩ左右的上拉电阻，以保证在总线闲置时，其状态为高电平。AM2303采用的数据格式是一次传送40bit数据，即8bit湿度整数部分数据、8bit湿度小数部分数据、8bit温度整数部分数据、8bit温度小数部分数据、8bit校验位，数据高位先出。

单片机与AM2303之间的通信按以下步骤完成，这也是数据采集程序的设计思路。

（1）AM2303上电后等待1s，以越过不稳定状态。此时，AM2303的DATA引脚处于输入状态，时刻检测外部信号。

（2）单片机P2.0引脚输出低电平，持续时间不小于500μs，然后置P2.0引脚为输入状态，等待AM2303应答信号，如图8所示。

（3）AM2303检测到低电平后，等待外部信号低电平结束，延迟后AM2303的DATA引脚处于输出状态，输出约80μs的低电平信号，紧接着输出80μs的高电平信号，通知单片机准备接收数据，时序图如图9所示。

（4）AM2303的DATA引脚输出40位数据，单片机根据IO电平的变化接收40位数据。位数据“0”的格式为：50μs低电平和26～28μs高电平；位数据“1”的格式为：50μs低电平和70μs高电平，分别如图10和图11所示。

3. 单片机模块

单片机模块使用的是笔者自己设计的最小系统板，PCB通过热转印制作，印到单面覆铜板上，然后通过三氯化铁腐蚀得到，如图12所示。

这个PCB设计中使用了30mil的线宽，因为线宽太小容易在腐蚀时断掉。焊盘大小也比标准的62mil大，采用了80mil的直径，是为了防止打孔的时候把焊盘钻没了。焊接好的实物图如图13所示。

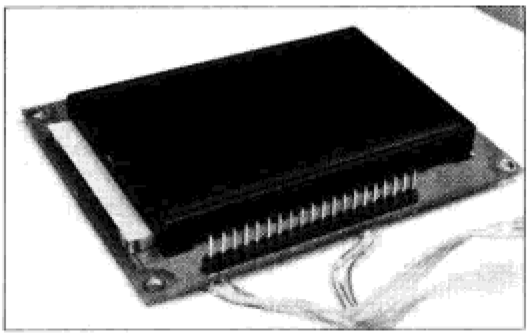


图14 12864LCD显示屏实物图

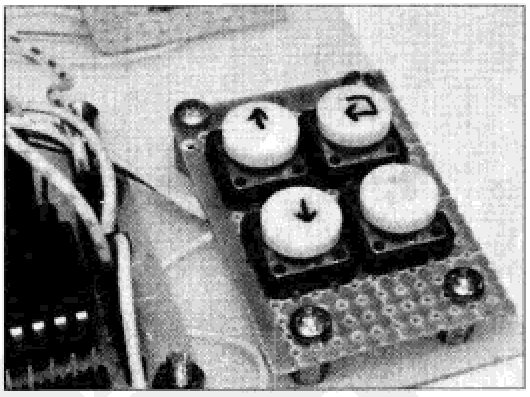


图15 按键实物图

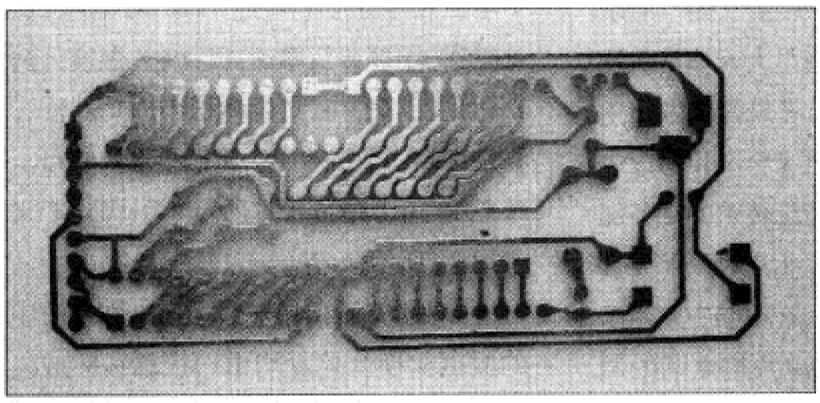


图12 热转印腐蚀后PCB实物

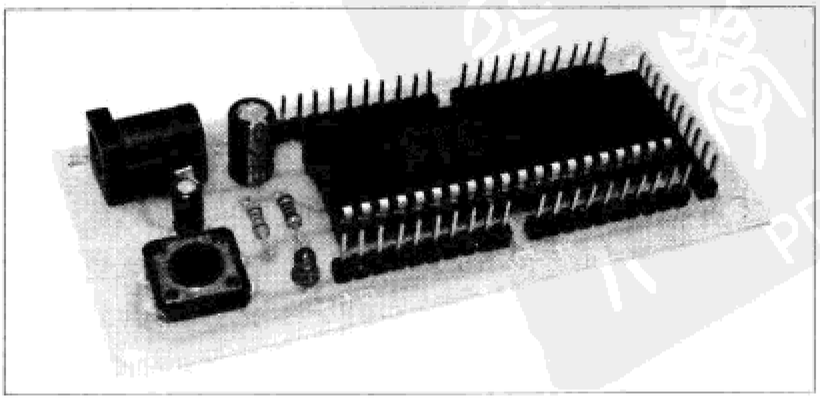


图13 单片机最小系统板

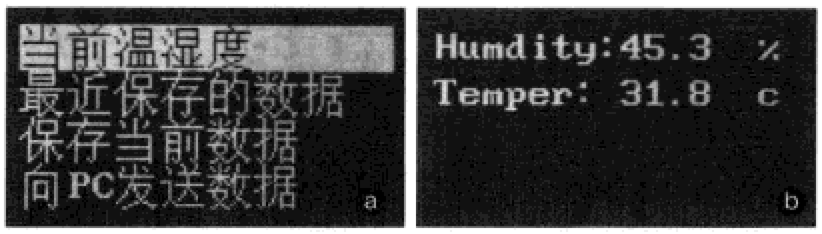


图16 显示当前温湿度

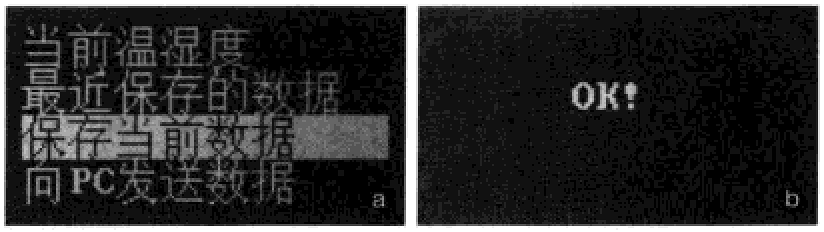


图17 保存当前数据

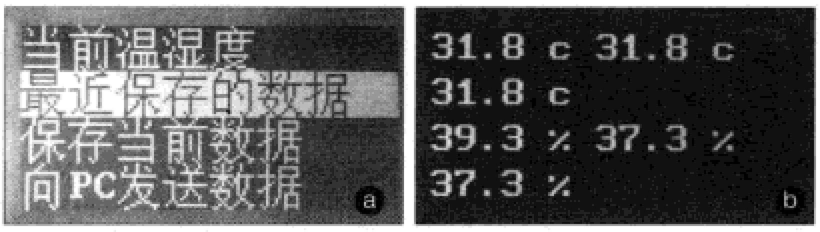


图18 最近保存的数据

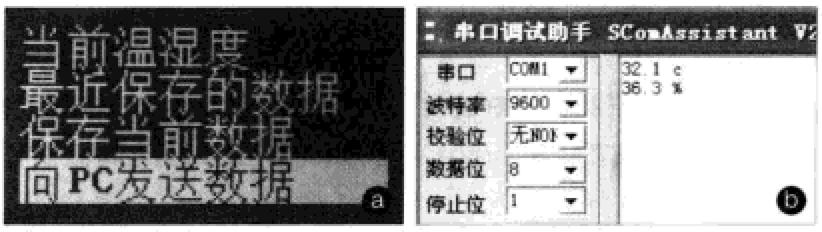


图19 向PC发送数据

4. 显示模块

系统的显示部分采用带字库的点阵图形液晶显示模块12864LCD，它具有4位/8位并行、2线或3线串行多种接口方式，内部含有国家一级和二级简体中文字库。12864LCD显示分辨率为128×64，内置8192个16×16点阵汉字、128个18×8点阵ASC II字符集。利用该模块灵活的接口方式和简便的操作指令，可构成全中文人机交互图形界面。实物如图14所示。

5. 按键部分

按键部分公共端接地，按下即可在单片机IO口获得低电位。实物图如图15所示。

工作过程

通过上、下按键可以使光标上、下移动，按右下角的确定键可以进入该选项。开机时的初始界面如图16（a）所示，此时光标在第一行，按确定键进入图16（b）界面。按返回键返回主界面，将光标移到保存当前数据，如图17（a）所示，按确定键进入图17（b）提示，再按返回键即可返回，多次按“保存当前数据”可保存多个数据。返回主界面后，将光标移到“最近保存的数据”，如图18（a）所示，按确定键后界面如图18（b）所示。返回主界面，光标移到“向PC发送数据”，如图19（a）所示，按确定键之后，屏幕提示“OK！”，此时，电脑端的串口调试助手即可收到数据，如图19（b）所示。

图20 返回温度数据

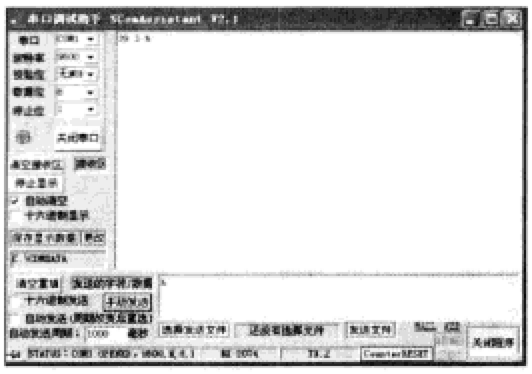


图21 返回湿度值

图22 手机端显示湿度值

图23 手机端显示温度值

PC端也可以主动请求数据，若在PC端串口调试助手发送字符“t”，即可返回温度值，如图20所示。若在PC端串口调试助手发送字符“h”，即可返回湿度值，如图21所示。类似的也可以使用手机的蓝牙进行接收和显示数据，如图22和图23所示。

总结

这个温湿度监测装置使用STC89C52RC单片机作为核心控制器，AM2303作为数字式温湿度传感器，具有高精度和高稳定性的特点，可确保系统长时间正常稳定工作。利用蓝牙模块实现数据的无线传输，方便实用。

■ 文章相关程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

基于USB接口的PC性能监视器

◎刘亮

一些高级主板会附带一个可以显示计算机性能参数的小配件，便于用户随时监视。其实这种配件并不复杂，电子爱好者都可以DIY，既实用，又酷炫。

大家在使用电脑的时候，常常会关注一些比较常用的数据，如CPU占用率、CPU温度、硬盘温度、内存使用量等，这些都可以通过系统自带的性能监视器进行查看，系统自带的性能管理器见图1。

这个程序可以通过点击：开始－运行，输入Perfmon调用。它包含了很多专业的参数，涵盖了计算机关键的系统程序、应用程序以及CPU、硬盘、网卡等硬件的相关参数，可以对计算机的运行状态进行全方位的监控。不过这个程序也有它的局限性，主要是必须在桌面前端才能进行查看，在日常使用中可能有些不太方便，比如玩游戏的时候，想顺便看看CPU的温度和硬盘的温度，则需要切换到该软件才行。为了解决这个问题，笔者做了一个类似的小软件，可以通过连接在USB接口的设备，使用LCD2402显示器进行显示，从而方便了查看，制作过程介绍如下。

原理简介

笔者的想法比较简单：由于PC的一些参数需要通过性能管理器才能查看，一“屏”不能两用，为何不将这些数据另外显示在一个简易的显示器上，不就可以实现了吗？因此，笔者制作的这个性能监视器，其实就是一个需要上位机与下位机配合的“第二屏”。上位机软件将PC的性能参数进行搜集，然后通过接口传送至单片机，经过单片机处理后在LCD2402液晶屏上进行显示。

从通用性考虑，当前PC最常用的接口就是USB接口，因此笔者采用USB作为PC与单片机连接的接口。液晶屏的选择很多，为了方便使用，笔者最终选择了一款2402字符型的液晶屏，这款液晶屏的最大特点就是方便易用且兼容LCD1602，相信大部分读者对1602液晶屏都很熟悉。2402液晶屏每行比1602液晶屏多了8个字符，显示的数据容量更大，并且此款2402显示屏采用红底设计，十分抢眼，见题图。

为了方便电路设计以及焊接，笔者选用了美国硅实验室公司的C8051F320作为主芯片，它是一款具有51增强型内核的处理器，是传统51运行速度的12倍，并且自

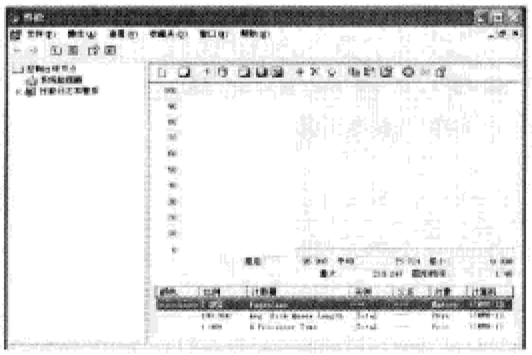


图1 XP系统自带的性能管理器

表1 元器件清单

序号	名称	数量	说明
A	C8051F320	1	主芯片
B	1kΩ贴片电阻	2	LCD2402偏置电阻、C8051F320复位电阻
C	贴片电容	1	C8051F320复位电容
D	电路板	1	专门设计的电路板
E	LCD2402	1	显示屏

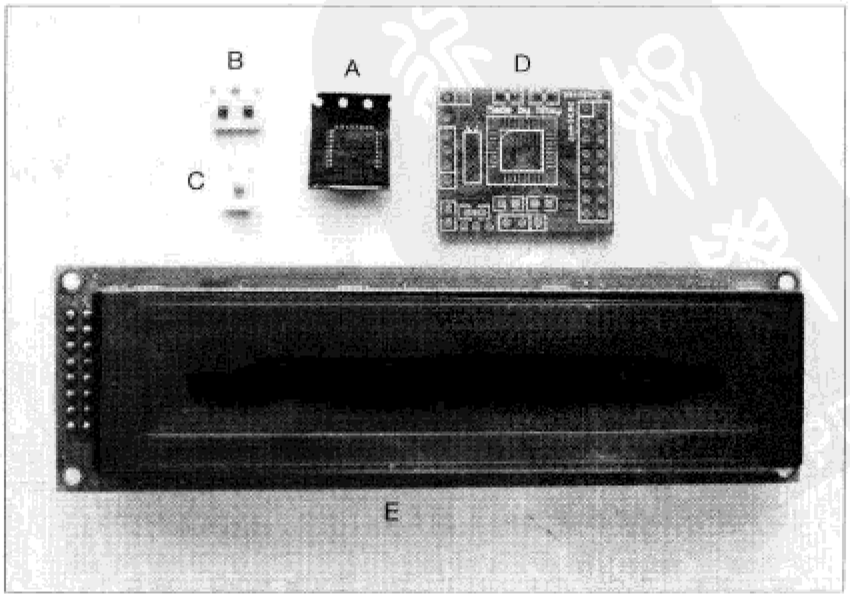


图3 元器件全家福

带USB收发器，在USB方面应用很广。另外，网上相关的USB参考资料也很多，不需要花很多时间再去研究它的固件。

制作所需的元器件清单见表1，元器件全家福见图2，电路原理见图3。

制作所需的元器件很少，为了减小体积，还是特地做了一块小电路板，面积不到（3×3）cm^2，直接焊接在LCD2402的8×2的插针上，美观而且牢固，电路板还包括其他的功能，在这个性能显示器上暂时没有使用。

在此简单介绍一下C8051F320这款芯片：

1. C8051F系列单片机中的一款小型高速单片机，在晶体频率为25MHz时，能达到25MIPS的运行速率。它由5V电压供电、低功耗。电路附带IO，附带交叉开关(CrossBar)，可切换特殊功能的引脚位；

2. 与MCS-51内核及指令集完全兼容、集成丰富外设与数据采集模拟器件，各种开发软、硬件完备，十分方便；

3. 独立片内JTAG仿真电路提供全速的电路内仿真，不占用片内资源，支持存储器和寄存器校验和修改；

4. 片内自带有USB收发器和控制处理器，这是它区别于同一系列产品的另外一大特点。

虽然元器件不多，但基本都是贴片封装的，对一些初学者可能会带来不便，本刊以前的文章中经常提到贴片元件的焊接方法，这里不再重复。

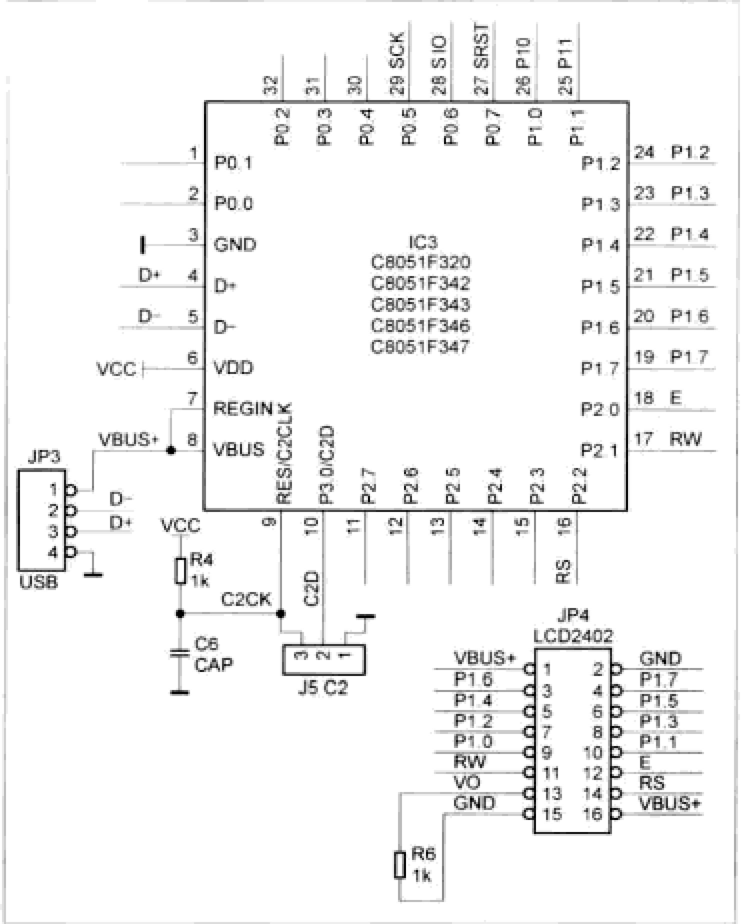


图3 电路图

调试和使用

通过USB接口与计算机通信的设备都需要一个桥梁——驱动程序。因此，笔者为其写了一个最基本的驱动程序，第一次插上性能监视器时需要安装驱动程序，具体方法是待系统提示安装驱动时，选择自己安装驱动，然后定位至驱动程序所在的文件夹，按下一步，系统就会发现并安装，稍等一会儿，就会提示驱动安装完成，然后可以在设备管理器里面看到相应的设备，见图4。

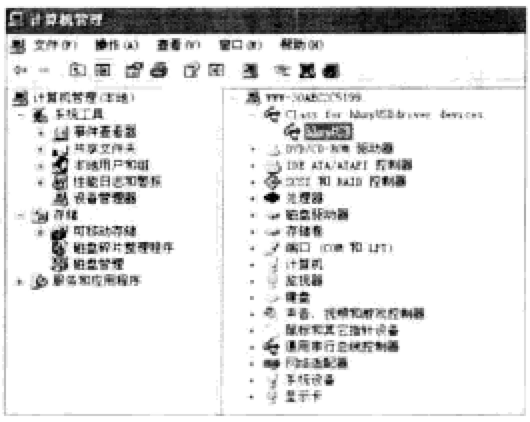


图4 正确识别性能监视器

然后就可以打开上位机软件，见图5。

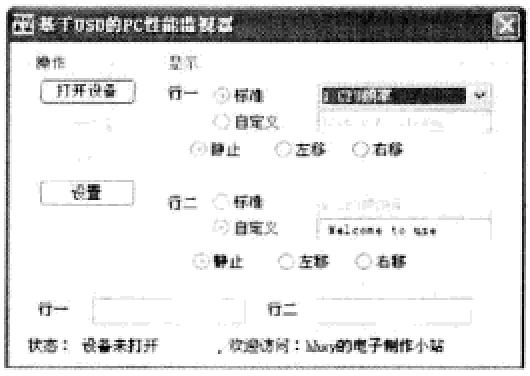


图5 上位机软件界面

点击打开设备的按钮，正常情况下，就可以打开设备，左下角的状态会提示设备已打开。这时就可以点击运行，LCD2402液晶屏就会出现字符。为了增加显示效果，笔者定义了三种模式：静止、左移和右移；液晶屏的2行字符可以选取不同的PC参数，在这个软件上，可以选择14种参数，见图6。

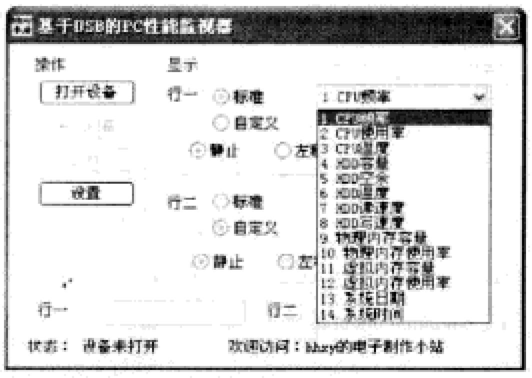


图6 性能显示器支持的项目

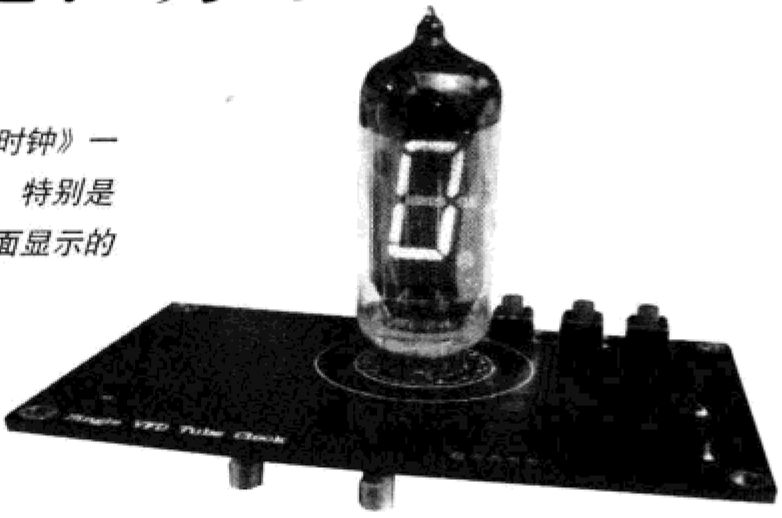
此外还可以显示用户自定义的一些字符串，比如Welcome to use等。由于水平所限，此软件暂时只支持XP系统，显示的效果见题图。

应用

完成这个性能监视器后，怎么看都觉得需要一个盒子，不过我很快就改变了主意——可以安装到台式机的光驱位。一般台式机至少有2个光驱位，其中一个未使用，只安装了一块挡板。我们可以把挡板中间部分掏空，将LCD2402液晶屏固定在上面，与PC融为一体。

■ 文章中所用到的上位机程序与源程序可到《无线电》杂志网站www.radio.com.cn下载。

单荧光数码管钟制作过程分享



我对《无线电》2011年第6期介绍的《用单荧光管制作的电子时钟》一文很有兴趣，买了套件回来制作。套件里配套的元件质量很不错，特别是PCB上黑色的阻焊处理，看上去光亮而有质感，我选的是直立侧面显示的YS18-3荧光管。这里将制作的体会和收获与大家分享。

◎张峥（BG8SF）

元件尺寸和识别

套件（图1）里的元件大多是贴片元件。电阻R1～R28和电容C2、C4、C5、C8～C12是0805封装标准，尺寸为2.0mm长×1.25mm宽。三极管VT1～VT16是SOT-23封装标准，尺寸为2.9mm×1.3mm（含引脚尺寸2.9mm×2.4mm）。它们都很微小，识别它们时要借助放大镜，并且要环境光线充足。电解电容、电感、集成电路和其他元件相对大一些，比较容易识别和安装。

贴片电阻和三极管为黑色，印白色字符，根据字符可以识别其型号规格。贴片电容一律为土黄色，尺寸与电阻近似。电阻R27在第6期《无线电》中的元件列表为“1Ω”，套件中实际配套为“0Ω”，就当一个跳线用，直接用锡将两个焊点连起来就行。按原电路原理描述，它应该是为调整配合荧光管灯丝电压的作用而设的。为了电源工作的安全，电子管灯丝供电回路中串接了贴片自恢复型保险管FU1，封装标准是2512（见图2），尺寸为4.6mm×3.0mm。FU1扁扁的，表面为绿色，很好认。

杂志刊登的元件列表中遗漏的L1为100μH电感，是一个黑色圆柱体，侧面能清楚地看到它黄色的漆包线，体积较大，很容易找到。剩下的就是黄色的偏平圆片，它就是焊接好引脚的3V锂电池BT1，用万用表很容易判断出其两个脚的正、负极。从正极那面，透过引脚焊片大概能看到“Lithium cell”的部分字母。

安装与焊接

贴片元件的广泛采用有利于自动化流水线装配时提高生产效率，但纯手工安装却变得困难了许多。一是个头都很小，不容易辨认，另外模样也差不多，安装时要借助放大镜仔细核对辨别，避免安装错误。识别元件除了看标识规格外，最好再用万用表测试后确认一下，特别是二极管这类有极性的2脚元件。多脚的元件（三极管、集成电路），只要位置正确，一般不会对错引脚。

通常安装焊接顺序是：贴片电阻、贴片电容、贴片三极管，然后是体积较大的电解电容、按钮开关、插头等。VT17 的MOS 管、IC1 ～ IC4 等元件相对脆弱，容易被静电击穿，最好放在最后安装、焊接。建议采用防静电电烙铁焊接，由于我手边没有防静电电烙铁，我采取的方法是：等电烙铁烧得温度足够时，拔下电源插头。一只手接触大面积金属的窗框和铁架，另一只手拿导电的镊子触碰烙铁的金属头部分，将烙铁上的电荷放掉后，再开始焊接。当烙铁温度不够时，再插上电源加热。

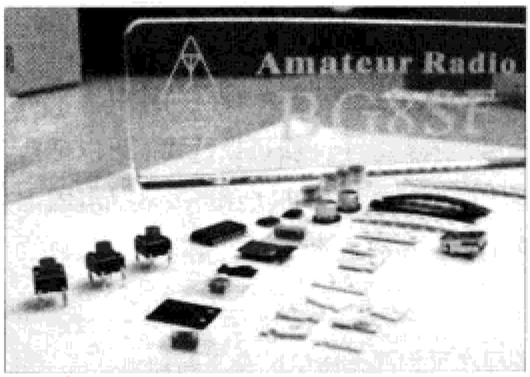
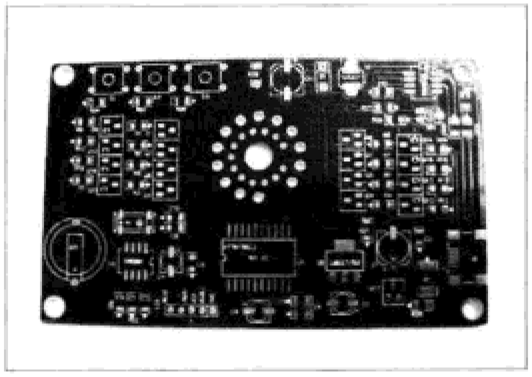
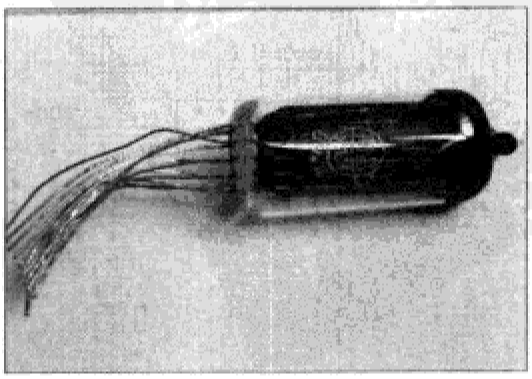


图1 套件质量很不错





用尖细烙铁头焊贴片元件可以很精确地指向焊点，但尖细的烙铁头热容量小，采取拔电焊接的方法时烙铁头温度下降会很快。另外，用尖烙铁头一个个地焊集成电路那些又多又细的脚真是需要耐心的。我后来干脆使用了扁平的粗烙铁头来进行焊接。套件中的PCB处理得很好，非常容易焊接，元件质量上乘，脚上没氧化，粗扁的烙铁头适量沾锡，辅助松香，很容易就能一次完成相邻几个引脚的焊接。偶尔锡量过大，元件脚间有粘连，换细烙铁头多沾点松香就可以很容易地把它们分离了。电解电容、电感、可调电容等的主焊接面都在PCB下部，尖烙铁头接触不到，用热容量大的扁烙铁头直接加热PCB焊片，适量上锡就可以保证元件的牢靠焊接了。

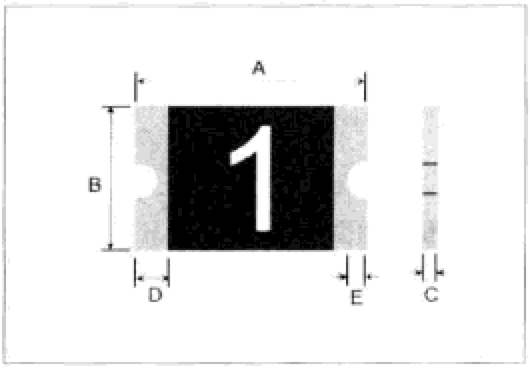


图2 自恢复保险管FU1外观及尺寸示意图

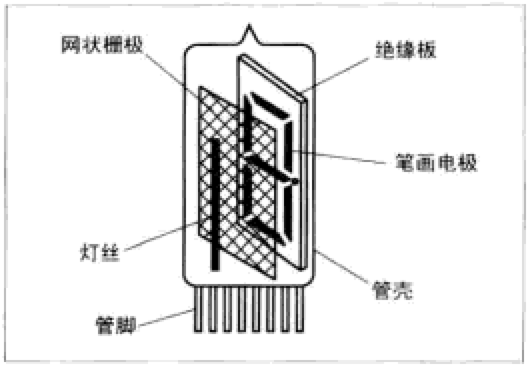


图3 VFD的结构示意图

图4 用焊锡丝卷盘固定显示管

VFD是所有元件中个头最大的器件（见图3），从工艺上讲，它相对于其他元件更能耐受烙铁焊接时产生的高温和静电，可以最先安装，但它的个头实在太大了，装上它再焊其他的元件实在不容易。我选择的顺序是安装完所有其他元件，最后再装YS18。YS18管脚中有2条相对其他脚长，其中一条是第1脚，将它对正PCB标识“1”位置的内圈穿孔焊点，一一插入管脚。如果是YS30-3的荧光管，则插入外圈的PCB穿孔焊点，外圈焊点直径要大些。焊接YS18时，将它倒过来插入焊锡丝卷的塑料盘中心圆孔中正合适，方便腾出双手焊接管脚（见图4）。

调试和故障排除

荧光数字钟电路是以4片IC为核心的4个功能区数字电路，原理很简单，只要安装焊接无误即可正常工作。如果不能正常工作，应根据问题出现的状况进行排查。什么都不显示时，应重点检查电源电压及VS17、IC3、IC4及周围电路；显示字段不正常时，重点检查对应字段的达林顿管组合和电阻；按钮控制异常、数字内容显示不正确时重点检查IC1和周边元件，如果没有排除故障，应扩大检查时钟电路IC2及周边电路。

图5 按钮安装在荧光管同侧，方便操作

电路制作完成后出现过2个故障：

故障1 通电测试时VFD显示“c”“e”段不会亮。对应“c”段检查VT2、VT10、R2，对应“e”段检查VT5、VT13、R5。检查所有元件脚焊点，对可疑处重新焊接。重新通电，显示正常。

故障2 VFD显示亮度很微弱，白天环境光线很亮时几乎看不到。检查C11两端电压，发现不足5V。断开VD1、R17，外接稳压直流电源，当输入电压达到9V时VFD亮度正常。随着电压提高，VFD亮度也提高，直到18V时亮度最大。确认故障在IC4周围电路，重新检查元件状况，并重新焊接所有焊点，排除故障。

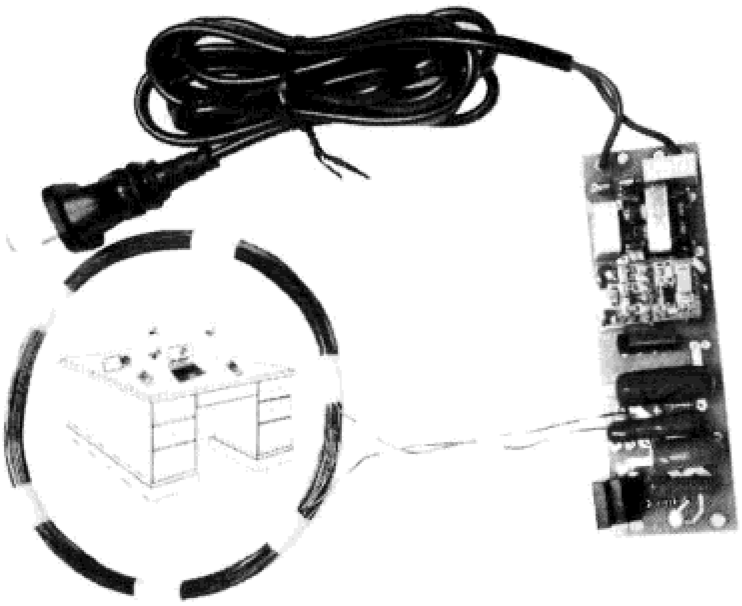
我的荧光管数码钟完成的最后效果读者也可以到博趣论坛参观：http://www.hobbypress.cn/bbs/read.php?tid-5369-displayMode-1-page-e.html#a，里面还有电子管制作过程的视频分享。

改进和优化

《无线电》第6期原文中图11示意的S1、S2、S3按钮在PCB元件面安装，使用时不方便操作。按该文图12示意的方式，我将3个按钮安装在荧光管同侧，操作感觉更佳（见图5）。

漂亮的电路缺个壳子。可以考虑用录音机磁带盒或者8mm模拟录像机磁带盒。它们的尺寸正好够装电路板(见图6)。盒子正面开孔，让荧光管穿出来，露在外面，非常漂亮。3个按钮开关配上合适的帽子突出在盒面上，方便操作。

图6 录音磁带盒正好可装入电路板



试制无线供电办公桌面系统

◎古人

无论是家用电脑桌面还是办公电脑桌面，上面常常摆放着显示器、键盘、鼠标、音箱甚至台灯，这些设备的电线相互牵挂、缠绕在一起，高压线、低压线、各种数据线，真可谓是一个“有线网络”啊。这样不仅影响美观，不便使用和维护，而且电源和数据之间还常常相互影响，增加了这些电器的故障率，甚至由于电线的破损，导致漏电……

几年前，继麻省理工的60W无线灯泡在网络上传播后，无线供电办公桌面的概念接踵而来，且倍受关注。然而，从理论到应用还有不少问题需要解决，主要有以下几个方面。

首先，就技术而言，基于电磁共振的无线供电的稳定性、效率、能量的梯度分布、发热等一系列问题，无不困扰着它在实际应用中的可行性，特别是接收电路的稳定性和能量发射的梯度分布，这是桌面无线供电技术的关键。

其次，电磁共振的电磁波辐射是否影响健康，是否有潜在的干扰和危害，也是广大用户颇为关心的问题。

再有，兼容性问题，包括电路本身与环境的兼容性，以及与不同电器之间的兼容性，还有成本、性价比等诸多问题都有待解决。

为了实现桌面的无线供电，我们可以从一些专业从事无线供电研究的几家著名公司中选择一个方案，如POWERCAST公司、FULTON公司和MIT(美国麻省理工大学)等，这些公司的产品大概如下：

1. POWERCAST公司的产品：工作模式RF915MHz，有效距离0.5m，有效电流50mA，输出电压4.2V或5.25V，包含一个发射器和一个接收模块，售价约36美元/套。

2. FULTON公司的产品：2009年首次在戴尔笔记本电脑上，以外置底板的形式提供无线供电电源，点对点工作模式，四点定位，电压约19V，电流约3A，包括两层塑胶在内，距离约1cm，一套配件高达数百美元。

Tips:

能量的梯度分布指的是，只用一个电源发射器，根据桌面上不同区域不同电器的需要，发射不同功率的能量，如：显示器需要20W，在这一区域发射25W；键盘需要1/8W，就对这一区域发射1W，其余类推。

3. MIT继60W无线供电灯泡实验后，在2010年美国的CES电子展上，以技术转让的形式，首次将该技术应用在海尔的液晶电视上，引起业界的高度关注，其工作频率约为10MHz，距离约60cm，功率约60W，接收天线分布在整个电视机的背面。

笔者尝试用VOX系列无线供电芯片制作了一个无线办公桌面系统，效果不错：桌面总发射功率~220V/0.22A，同时为桌

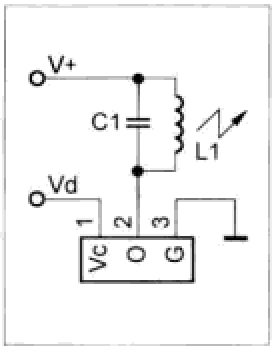
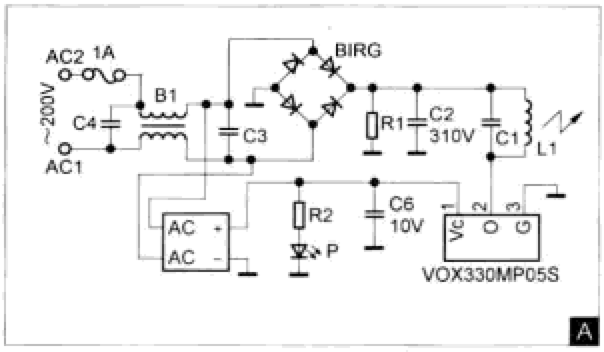


图1 电能发器基本原理图



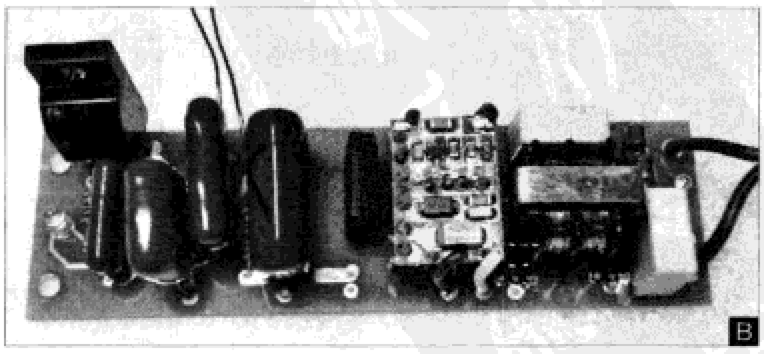


图2 50W电能发射器应用原理图及实物电图

表1　无线供电桌面发射部分的组成

器件名称	数量	主要构成	所用主要器件
50W电源发射器	1	主发射器+主线圈	VOXR330MP05S
辅助发射环	6	1个辅助电容、1个辅助线圈	
面板	1	120cm×60cm防火板	
底板	1	120cm×60cm防火板	

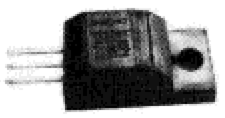


表2　无线供电桌面接收部分的组成

器件名称	数量	实现无线的方式	所用主要器件
无线显示器	1	无线供电+无线VGA	VOXR4C2/R5C2+GUWA200
无线音箱	1	无线供电+无线AUDIO	VOXR20D+2.4G音频
无线键盘	1	无线供电+无线数据	VOXR10D+RAPOO套件
无线鼠标	1	无线供电+无线数据	VOXR10D+RAPOO套件
无线台灯	1	无线供电	VOXR10D
无线充电手机	1	无线充电	VOXR10K1A

VOXR4C2　VOXR10D　VOXR20D　VOXR5C2

面上的25W显示器、2W音箱、2W台灯、3W广告灯、键盘和鼠标，还有手机等实现无线供电（充电），但不包括电脑主机（主机通常不放在桌面上）。重要的是，这一系统不仅能稳定工作，效率可达七成，而且整个系统工作在低频区域，除了对中波收音机的部分频段产生影响外，其他电器皆不受影响。

无线供电桌面系统的组成

无线供电桌面系统由一个具有电能发射功能的供电系统和桌面上的多个具有无线供电、无线数据功能的用电器组成。

要实现桌面供电的无线化，除了无线供电以外，还要数据的无线化，包括无线VGA信号、无线AUDIO信号、无线键盘和无线鼠标信号等。

整个无线供电桌面的系统组成见表1、表2。

电源发射的原理

从表1可见，整个桌面用了一个50W的电源发射器，为桌面上所有的电器供电，包括显示器、音箱、台灯、键盘和鼠标，甚至手机充电。发射器的工作原理十分简单，主要器件是一个高压发射芯片VOX330MP05S，它的额定功率为50W，最大可达100W，其输出端（2脚）承受的工作电压范围相当宽，100～400V DC，但芯片本身的驱动电压却不高，只有9~15V DC，芯片的输出端直接推动一个LC发射回路，如图1所示。

图2（A）是50W发射器的应用原理图，图2（B）为电路实物图。图中C4、B1、C3组成滤波网络，DC是一个220V~/10V开关电源，BIRG对市电整流后由C2滤波，容量为1μF，R1为放电电阻，C1为103pF/1kΩ、6V，L1为260μH，直径10cm。

一个发射器如何给桌面上这么多电器供电并实现能量的梯度分布？解决的办法是——用一个主发射线圈和多个辅助发射环相结合。

图3是发射桌面系统内部各个发射线圈的位置分布图，每个发射线圈负责给桌面上一个对应的电器供电，各个区的能量均来源于同一个50W电能发射器。发射器的主线圈分布于显示器区，这是主要耗能区，另外6个区的能耗较小，都使用辅助发射环来发射电能。辅助发射环均由1个辅助电容和1个辅助线圈串联而成，辅助电容的大小与辅助线圈的发射功率有关，通常辅助电容比主发射电容小一个数量级。辅助线圈的大小由桌面上用电器的使用范围决定，如:鼠标的活动范围比音箱大，相应的辅助线圈就大些。辅助发射环能以不同的功率给主发射区以外的其他桌面区域发射能量，实现了能量的梯度分布。

图4（A）、4（B）为发射桌面的实物图和效果图，它是由两块防火塑料板和中间的发射器组成，各个发射线圈（包括辅助发射环）均贴近防火塑料板上表面安装，发射电路可以固定在两块塑料板之间或安装在下表面。值得一提的是，辅助发射环的位置可以根据个人爱好和操作习惯而定，不一定按图3的方法一成不变。

电源接收的原理

桌面上的用电器（包括显示器、音箱、台灯、手机、键盘和鼠标等）根据功耗的大小分为以下几类：大功耗的显示

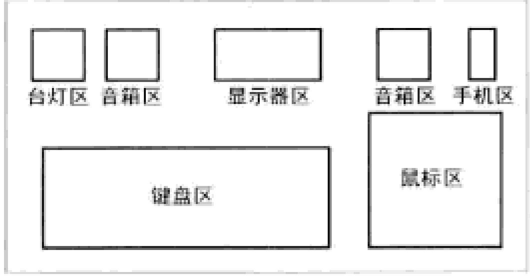


图3 电能发射桌面系统发射线圈位置分布图

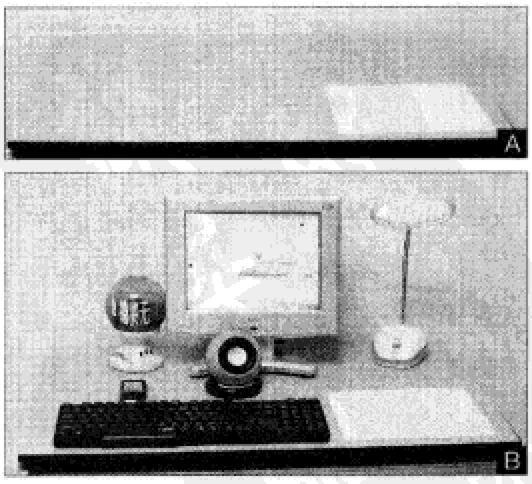


图4 电能发射桌面的实物图和效果图

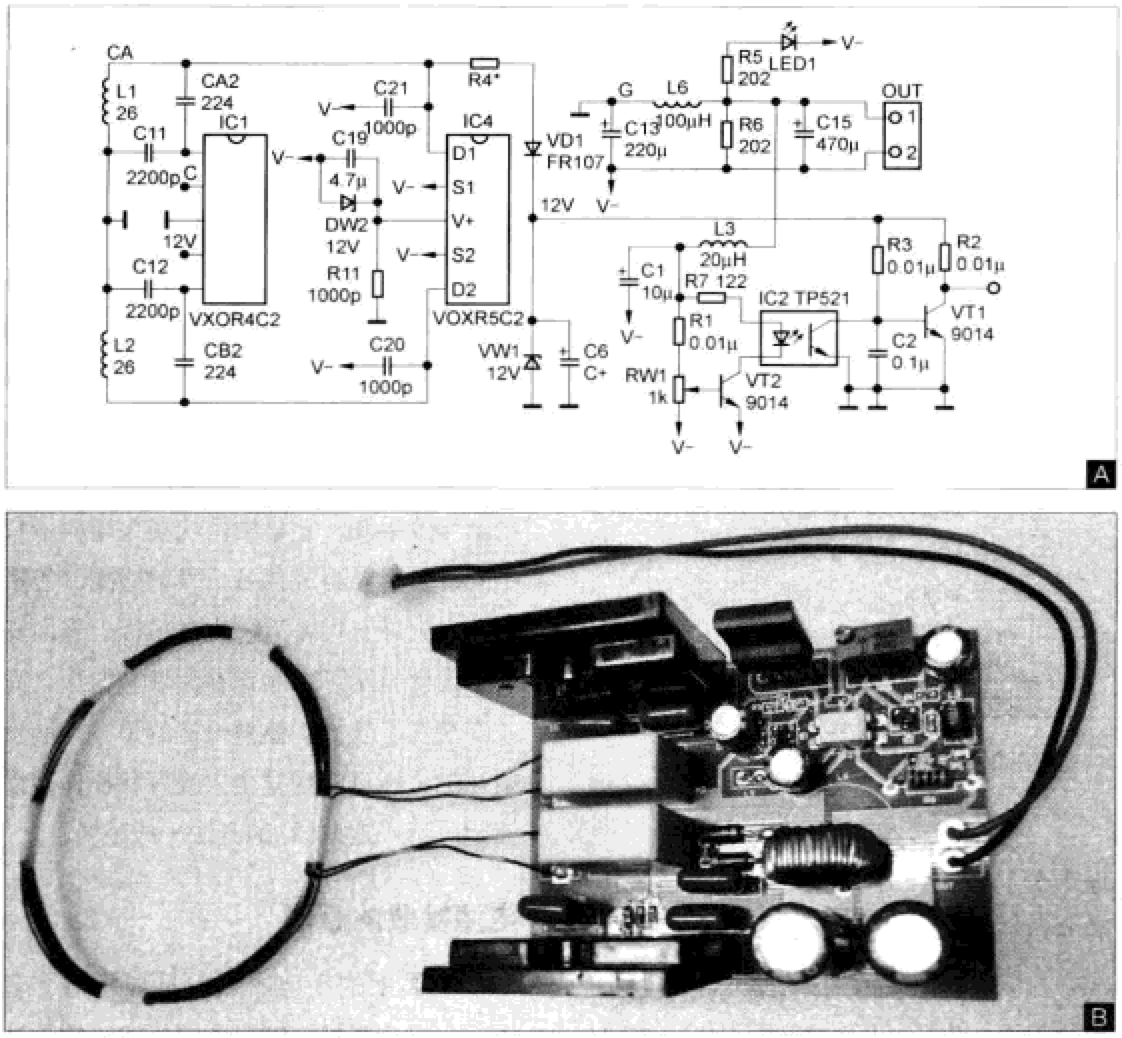


图5 显示器电源接收原理图及实物

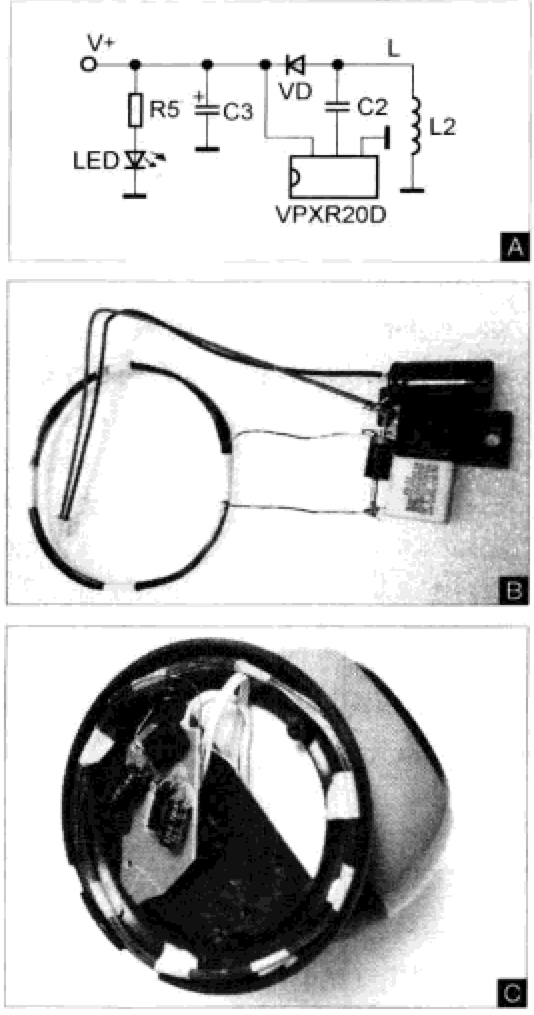


图6 音箱及台灯电源接收电路及实物

器，中功耗的音箱和台灯，独立充电的手机，还有小功耗的键盘和鼠标。因此，它们的接收电路不尽相同。

显示器电源接收原理图如图5（A）所示。这是一个电流为3～10A、电压为9～24V连续可调的高效接收电路，使用了两个专用的接收芯片VOXR4C2和VOXR5C2，前者用于稳压管理，后者用于同步整流，它们都是单列五脚厚膜封装。特别指出的是，这两个芯片都要10～12V的驱动电压，但不共地，前者是对G的12V电源供电，后者对V-的12V供电，因此电压的反馈调节使用了光耦TP521来隔离，改变RP1的位置，就可以实现输出不同的电压。图中L1和L2是两个串联的接收线圈，R4、VD1、VDW1和C6为VOXR4C2供电，R11、VDW2和C19为VOXR5C2供电。图5（B）为实物图。

音箱及台灯电源接收电路如图6所示。键盘及鼠标电源接收电路如图7所示。

无线数据设备的选择

1. 无线VGA设备

如图8所示，我选用的是GUWA200，它主要包括两部分，一个USB发射器和一个具有VGA输出的接收器。发射器直接使用USB电源，接收需要提供5V电源，支持1024×768分辨率，传送距离约10m左右。发射器插在电脑主机上，接收器与显示器相连，可将接收器藏于显示器内部，并将原来的VGA线剪短，所用5V电源可从显示器的电源上分流出来使用。

2. 键盘和鼠标

我选用了雷柏套件，键盘和鼠标共用一个USB模块来收发数据信号。

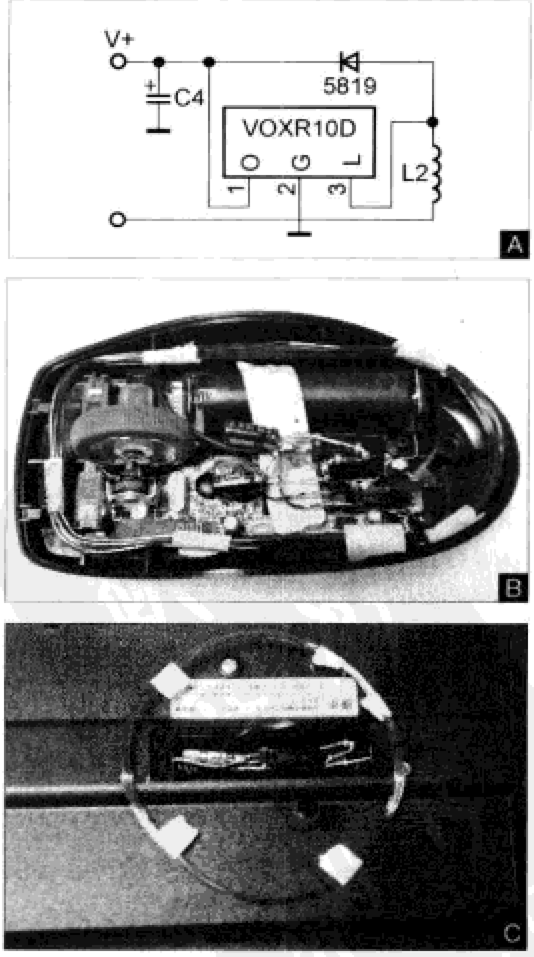


图7 鼠标、键盘电源接收电路及实物

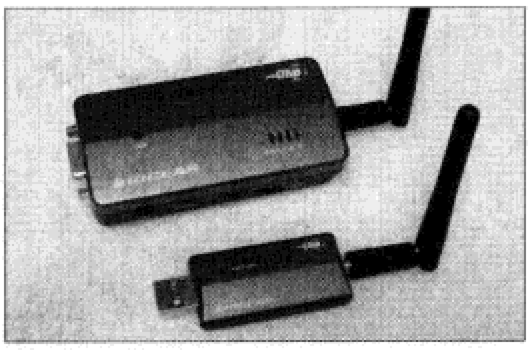


图8 我采用的无线VGA设备GUWA200

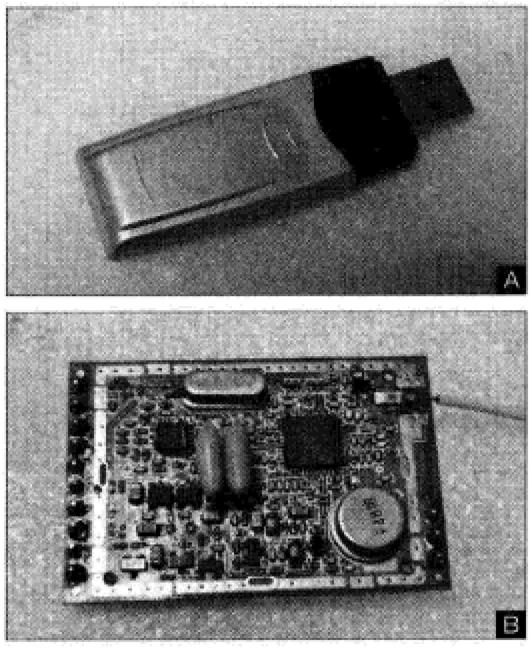


图9 2.4G音频套件

3. 2.4G音频套件

如图9所示，这种音频套件市场上品种较多，可就地取材，也可以从2.4G的无线耳机中取出芯子来使用。

4. 音箱的选择

除了音质外，对于音箱外形有一个特别要求：音箱的底座应能放下一个直径8cm左右的线圈，如图6（C）所示。

5. 对电脑主机的要求

无线供电桌面系统至少占用3个USB接口，如果主机上没有这么多USB口，可以使用扩展卡。使用时主机要放置在离桌面10m以内。

6. 对显示器的要求

显示器实际功率不超过40W，并有一个能覆盖直径10cm线圈的底座。

装配与联调

1. 发射桌面

发射桌面由两块防火板组成，面积与一个正常的桌面相当，约120cm × 60cm，面板厚约1～3mm，底板厚12~20mm，面板不用做任何机械加工，但底板上要按照各处发射线圈的形状和大小向下挖坑，以便藏入主发射线圈和多个辅助发射环和发射电路，电源线由底板的后下方引出。调试通过后，宜将面板和底板用胶水固定。

2. 显示器

将原有的开关电源拆除，并将VGA线拔下。将电源接收器的线圈固定在底座内并密封，电源接收电路置于显示器内原开关电源的位置，并从主电源上引出一个5V电压给VGA接收器使用。

将VGA接收器固定在显示器内，若厚度不够，可将接收器的外壳拆去，接上VGA信号线（共6条有效线，分别是：RGB信号三条，地，HV同步两条），并连上5V电源。

拆装前，需要在电脑主机上安装驱动程序，并按照原有的联接方式使显示器正常工作。拆装后，接收线圈需要置于主发射线圈之上才能工作，上下距离和左右偏移距离都不得超过2cm。

3. 音箱

留下有源音箱的扬声器和功放，将原来的电源线和音频线拆去，将电源接收器的输出端接到功放板上，接收线圈固定在底座内。将2.4G音频接收模块的输出端接到功放的输入端，模块所需要的电源从功放电源上分流出来。

左、右两个音箱分别用两个电源接收电路和两个音频接收模块，共同接收同一USB音频发射器的信号，连接时注意区别左、右两路音频信号。

使用时，将音箱放在桌面上两个指定的区域内。

4. 台灯

笔者选购的是电池供电的LED台灯，将原来的电池或电源线拆去，在底座内装入电源接收电路，如图6（B）所示。LED可以多组串联，混合使用。

使用时，台灯置于桌面上的台灯区，所放位置不同，台灯的亮度不一样，因此可以用这一特性来调光。

5. 键盘与鼠标

对于鼠标，接收线圈可以环绕在鼠标的内侧，电源接收电路的输出端分别接原电源的两端，不再使用电池。对于键盘，内部空间可能放不下电源接收电路，可将接收电路粘在底部，如图7（C）所示，也不再使用电池。使用时，鼠标在桌面上鼠标区使用；键盘在桌面上的键盘区使用。

实验结果

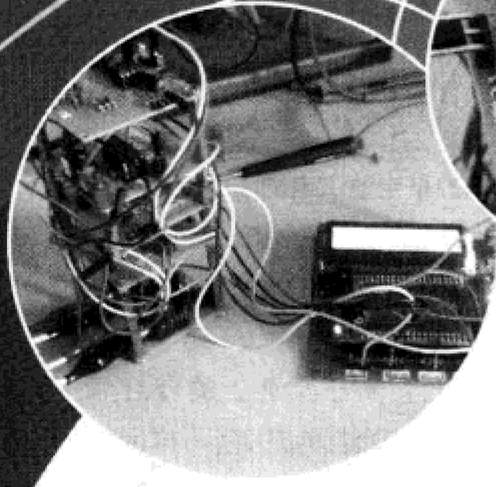
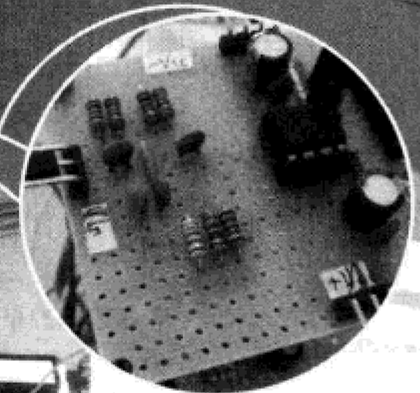
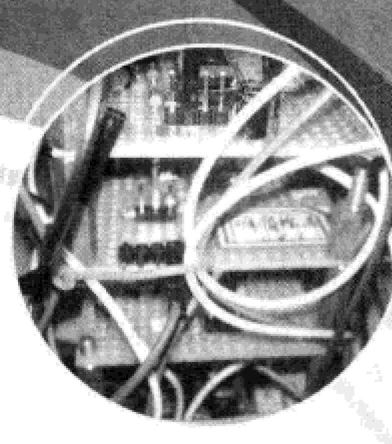
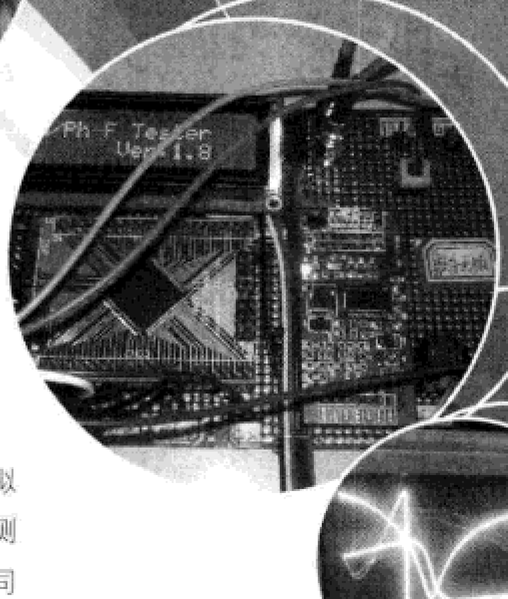
项目	电压(V)	电流(A)	备注
电源发射器	220	0.21~0.22	AC
无线显示器	12.0	2.0~2.1	DC
无线音箱	5.0	0.6	DC
无线键盘	3.0	0.01	DC
无线鼠标	3.0	0.01	DC
无线台灯	12	0.36	DC
手机充电	5.0	0.25	DC

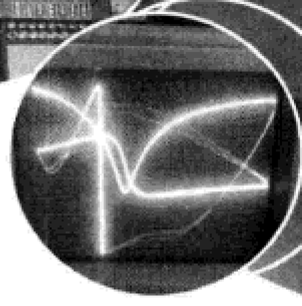
项目	参数	备注
系统工作频率	93～96kHz	按照国际EMC检测标准的必检波频率范围为150kHz～30GHz
系统工作距离	1cm	只能在桌面工作，可减少辐射。
系统电流温升	发射器21℃/显示器12℃/音箱5℃/台灯10℃/手机13℃	鼠标和键盘基本不升温
系统工作时间	连续	室温下

■ 关于本文的更多技术资料可咨询明天科技有限公司。

选择电设，选择一种生活——我们4天3夜的参赛经历

◎朱棣



今年在电设的准备期间，我们的主攻方向是仪器仪表，暑期期间我们针对这一方向练习过数字存储示波器、低频网络特性分析仪、LCR电桥和电子负载等题目。8月31日一大早拿到今年的题目后，我们首先排除了控制和小车的题目，留下了A、D、E题作为备选题目。

说到这里不得不提一下我们组3人的情况。我们队3人主攻方向都是硬件，其中有名队友专精于三极管、MOS管级别的电路设计，另外一名则主要负责各类芯片外围电路的设计制作，我本人则在运放应用方面比较强。由于3人中只有我的软实力还可以，所以无论单片机、ARM还是FPGA的编程工作主要由我来负责。根据我们队伍组成的特征，我们3人用了1个多小时的时间认真分析了剩余的3道题目。

一 选题

A题是电源题，主要涉及开关电源的设计制作和自动功率分配两个难点。开关电源用到的一些大功率器件，在暑期做电子负载题目的时候有过接触，但是自动功率分配我们3人却从来没有接触过。

D题是很多年来都没有出过的纯模拟的题目，完全不涉及任何单片机控制、测量部分，电路不复杂，但是很难调测。同时对功率提出了近乎苛刻的要求，很有可能需要用三极管来实现。

E题属于仪器仪表类题目，但是却加入了较多的数字、模拟电路设计部分，弱化了数据处理部分。E题对我们来说最大的难度就是没有学习过《通信原理》，对于E题中提到的很多概念都不清楚，而且对于其中最关键的时钟提取技术这一项，我们都毫无头绪。

经过逐题的分析，原理不明确的E题被最先排除，又考虑到我们队伍里面有深入研究过三极管相关电路的同学，我们选了把握比较大的D题。

二 方案

题目选定后，午饭期间我们便商定了方案。

D题的方案很唯一，题目已经清清楚楚写了LC谐振放大，所以需要有一级LC谐振放大电路。同时为了保证较高的增益，前级需要有一级LNA（Low Noise Amp），200Ω负载上达到1V_{rms}，末级加一级射极跟随器是必须的。

午饭间，我们三言两语就确定了这个电路的基本构成：LNA+LC谐振+射极跟随器。其中的LC谐振部分，由于题目给出了矩形系数、带宽的要求，最理想的应该是采用两级双调谐，并调谐在不同的频率上做参差调谐，但是由于没有制作经验，我们选择了相对简单的两级单调谐回路。

LC 谐振放大器（D 题）【本科组】

一、任务

设计并制作一个LC 谐振放大器。

二、要求

设计并制作一个低压、低功耗LC 谐振放大器，为便于测试，在放大器的输入端插入一个40dB 固定衰减器。电路框图见图1。

1. 基本要求

（1）衰减器指标：衰减量40±2dB，特性阻抗50Ω，频带与放大器相适应。

（2）放大器指标：

a）谐振频率：f_0=15MHz；允许偏差±100kHz；

b）增益：不小于60dB；

c）−3dB带宽：2Δ$f_{0.7}$=300kHz；带内波动不大于2dB；

d）输入电阻：R_{in}=50Ω；

e）失真：负载电阻为200Ω，输出电压1V时，波形无明显失真。

（3）放大器使用3.6V 稳压电源供电（电源自备），最大不允许超过360mW。

2. 发挥部分

（1）在−3dB 带宽不变条件下，提高放大器增益到大于等于80dB。

（2）在最大增益情况下，尽可能减小矩形系数$Kr_{0.1}$。

（3）设计一个自动增益控制（AGC）电路，AGC控制范围大于40dB。

AGC控制范围为20log（V_{omax}/V_{imin}）−20log（Vo_{max}/V_{imax}）（dB）。

（4）其他。

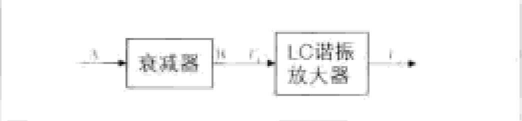


图1 电路框图

三 实现

方案很简单，但是实现起来却是困难重重，毕竟三极管、中频放大器这些东西离我们这个年龄的人有些遥远了。我负责前级LNA部分的设计制作。LNA顾名思义，低噪声放大器，要求NF非常低，而且能达到较高的带宽。

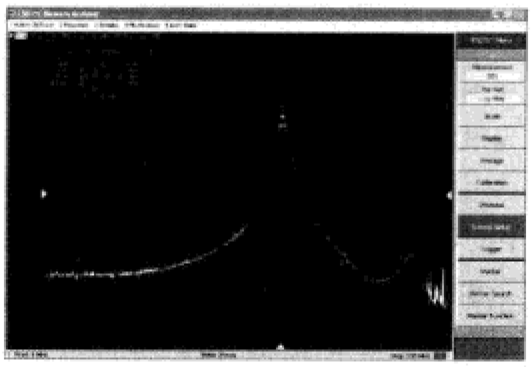
在第一天下午的选型阶段，我尝试了2SC3355、3DG6、3DG12、9018等几款三极管以及2SK241等几款MOS管。在几款管子都正常工作的情况下，我选了手册上NF数据最低的NEC公司的2SC3355。

第一天的晚上，我们一致决定先去休息，因为后面几天可能都会是不眠之夜。第二天、第三天主要是电路分块调试阶段。在第二天下午，我负责的LNA部分已经基本成形，20dB的增益以及37MHz以下平坦的增益，基本满足了设计要求。与此同时，后级部分也基本完成了，6dB左右的增益，200Ω电阻上3.2V_{pp}的输出电压也满足了设计要求。现在只剩了最困难的LC谐振放大电路部分。

第三天中午的午饭时间，我们都已经接近绝望边缘了。电路自激严重、自己绕制的中频放大器一致性太差、带宽太宽等一系列问题接踵而来。这时，组内的一位同学突然来了一句：“调吧，调不出来也得调，前辈们用块万用表加把烙铁就能做出来的东西，咱们仪器这么全，没道理做不出来。”是啊，D题不就是个收音机电路么，守着这么多先进仪器，连个收音机都做不出来，说出去岂不是太丢人了。

饭后，被那一句话伤到的我们又开始了奋斗。通过改变接地方式，我们消除了自激。反复绕制，在绕完了整整一包材料后，终于绕出了2只性能不错的15MHz中频放大器。而这时已经到了第四天的中午了。

到此为止，基本要求中除了带宽的要求之外，其余都达到了，带宽比赛题最基本的要求宽了整整一倍。而赛题的提高要求中的80dB增益我们能达到，矩形系数与AGC则没能完成。最后一天下午，我们把中放和末级拿去用网络分析仪测试，测试结果比较理想。与此同时，我也在仿照一个电视机的AGC电路做尝试，不过直到下午4点多也没有结果。最后的4个小时我们联调测试了一下整体电路，基本没问题后就把作品装箱了，然后开始着手写报告。至此，比赛完成。



网络分析仪对中放和末级的测试结果

四 测试

到了评测的日子，我们是北京赛区D题的第一组。准备室里，我们认真调试了装箱时的电路，中心频率与装箱时有一些偏差，微调过之后就去了评测室。

在评测室评测时，我们的末级工作突然不正常了，示波器观测没有波形输出，但是中级工作正常。不过由于我们的200Ω负载是焊接在末级电路上的，而所有的测试必须在200Ω负载下进行，所以我们放大电路部分的分数就都丢掉了，导致了最终名次的不理想。

五 后记

虽然比赛的结果不是很好，但是我们确实在这4天3夜中完成了非常棒的LC谐振放大电路的设计与制作，而且也学会了很多平时没有机会接触到，甚至是已经淡出人们视线的电路知识。赛后跟评测的老师交流的时候，他说这个题目就是考的谐振放大电路，我们的思路是很正确的，也是他比较希望看到的思路，只不过最后的结果比较遗憾。

回顾这4天3夜，从义无反顾地选择了这道纯模拟的题目开始，再到无数次绝望，又无数次看到希望，最后到评测时的失利，这可能是我的大学电子专业学习经历中，到目前为止最精彩、最跌宕起伏的4天3夜了。

交完作品，睡了一觉醒来，想到的还是学长送我们的那句：“选择电设，选择一种生活。”

编者按：现代的数字处理器几乎无所不能，各种专用射频芯片、通信组件和模块无处不在，而万变不离其宗，对这些现代化通信模块追根溯源，还得回归到放大、滤波等基础电路中。今年大学生电子设计大赛中的“LC谐振放大器”就是一道考验参赛者对基础电路活学活用的赛题。参赛选手或许会对FPGA的编程技巧了然于心，或许熟知ARM的软硬件设计，但却可能止步于一个收音机电路里常用线圈的绕制。回到基础，夯实基础，这或许也是大赛组委会出此题的用意之一。

业余条件下自制高频谐振线圈

◎时刻（BA6BF）

高频谐振线圈在无线电通信中用得很多，被广泛运用于谐振、滤波及耦合电路中。它们有多种形式，比如单纯由电容及电感组成的LC谐振回路组件，也有变压器形式。过去超外差收音机中大量使用的中频变压器（俗称中周），就是一种高频谐振变压器，它一方面完成谐振选频，另一方面也用来实现阻抗变换及耦合的作用。

中周一般是指使用金属小盒封装的谐振变压器组件，过去中周的称谓比较专一，就是指用于超外差接收机中的中频变压器。这个称谓不知道从什么时候开始也被泛指所有的小型谐振变压器组件或谐振回路组件，我们这里也使用了这种约定俗成的称呼。业余爱好者使用的中周一般工作在30MHz以下，所以在找不到合适成品中周的情况下，可以考虑自己动手制作。

在自制中周之前，先要确定需要它工作在什么频率上。这关系到我们如何进行磁芯骨架的选择，这很重要。通常中周分为调芯和调帽两种形式，调帽中周多用于频率在10MHz以下，而比较高的频率上一般需要使用调芯的形式。当然，在找不到合适骨架的情况下，随便找到的骨架也都是可以用的。无论如何，我们要记住，同没有相比，哪怕性能差点也是很值得去做的。

需要承认，业余条件下找到的中周骨架都缺乏足够的参数信息，这样我们就没办法在绕制之前就计算好圈数。为了得到合适的电感量，多绕几次不同的圈数，然后用LC表实测是通常的解决办法。如果没有LC表，起码也要有一个频率计，这样我们可以把制作好的中周作为谐振元件接入一个振荡器，而用频率计直接测量振荡器的输出频率就可以直接得到这个中周的谐振频率。

附表

频率	1.8MHz	3.5MHz	5MHz	7MHz	9MHz	14MHz	21MHz	28MHz
电容量	390pF	220pF	150pF	120pF	100pF	70pF	40pF	30pF
电感量	18μH	9.40μH	6.75μH	4.31μH	3.13μH	1.85μH	1.44μH	1.08μH

中周是一个LC谐振回路，它是由电感和电容共同组成，它们和谐振频率的关系为$f=1/(2\pi\sqrt{LC})$。电感和电容选取不同的比例，都可以得到相同的谐振频率，但是谐振回路的*Q*值等参数会有不同。作为业余爱好者，我们没必要也没有办法做到最好，那么我们可以使用一些经验参数来确定电容的值，因为中周用的电容器都是固定参数，而电感则可以进行调节。当电容确定下来以后，我们调节电感量，就可以使中周谐振在正确的频率上。

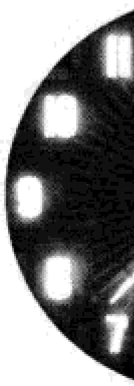
附表中的中周电感和电容的参数，都是业余爱好者常用的一些数据，按照这个数据来制作，一般可以获得理想的效果。需要说明的是，电感的参数允许有一些误差，使用时微调中周的磁芯，就可以补偿这种误差。正所谓，电容是死的，而电感是活的。作为业余爱好者的应用，这样已经足够了。

中周在很多情况下，还需要为前后级提供耦合，那么一般还需要加上一组耦合绕组，这个绕组的一些参数会影响中周的特性。这里面有一个耦合系数和阻抗变换比的概念，耦合系数是指初级线圈和次级线圈之间的耦合紧密程度。两个绕组叠在一起的时候，耦合系数最大，而两个绕组离得越远，耦合系数就越小。耦合系数过大，称为过耦合，中周的谐振曲线将会恶化，甚至失去谐振条件。而耦合系数过小，称为欠耦合，则传输损耗将大为增加。耦合的紧密程度，需要根据实际情况灵活调整。由于前级输出和后级的输入阻抗一般情况下都不同，所以适当选择初级和次级的线圈匝数，中周就可以起到阻抗变换的作用，中周初级和次级的匝数比的平方就是阻抗变换比。比如，初级绕组是10圈，次级绕组是5圈，这个中周的阻抗变换比就是4:1。以此类推，计算起来还是很方便的。

业余条件下的无线电制作，很多零件可能都找不到现成的。与其因为缺少某个零件而完不成制作，倒不如进行因地制宜的DIY，这也许才是无线电制作真正的意义所在。

制作一款独特的
圆盘指针式VFD时钟

◎段卫军



一直以来，我对各种各样的VFD器件都比较感兴趣，看到比较特别、少见的，我都会想办法弄来收藏。较早之前偶然在国外的某个网站看到过一款普通钟表圆盘指针式的VFD屏，甚是喜欢，可惜只有流口水的份，价格昂贵不说，买回来也不方便。后来一个朋友从国外给我带了一个回来，且不说多少钱，单这份真诚就很让我感动，虽然很不舍对它动“刀”动“枪”的，可是只有好好设计，将它驱动起来，才能更好地呈现它的美丽和惊艳。

我制作的这款圆盘指针式VFD时钟的主要功能、特点如下：

- 独特的圆形表盘指针式VFD显示屏，和我们平常见到的表盘式钟表一样，时针、分针、秒针动态显示；
- 充分利用表盘的显示特点，非常独特也容易理解的时钟调整方式；
- 3组独立闹钟设置；
- 特有的硬件开、关机设计、3组自动开关机控制时间和亮度分别设置；
- 红外遥控功能，配专门定制的小巧遥控器，同时也可以利用按键进行操作；
- 手动、自动光控设置，显示亮度8级随环境光线变化自动调整，保证在晚上亮度调低，在环境光线强时自动调高，更加智能、人性化。

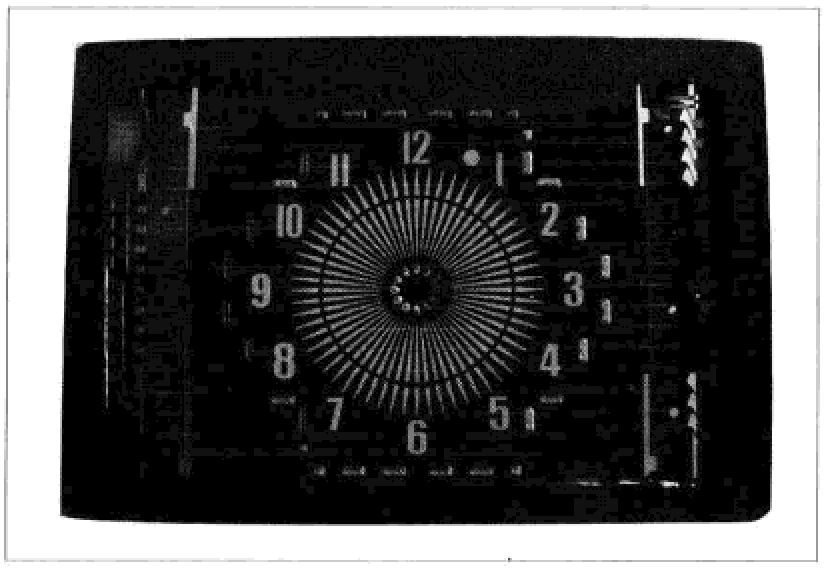


图1 VFD48-1202FN屏

圆盘指针式VFD时钟屏

这个屏的型号是VFD48-1202FN（见图1），实际生产厂商是国内的京东方，可能是国外定制产品，屏上的指针发蓝光，亮度为700cd/m^2。VFD48-1202FN屏有几个比较重要的参数，我们在制作中需要注意：

1. 灯丝采用交流2.4V电压供电，450mA电流，呵呵，这个感觉有点生猛，在电路设计时可能相对困难点；

2. 阳极、栅极电压是直流30V，电流最大为30mA；

3. 为了防止漏光，保证阳极、栅极截止电压是直流-7V，引脚连接见表1。

图2所示是显示内容和显示屏笔段的对应关系，要驱动显示屏，这个必须要搞懂。从图中可以看出，总共有“12个数字

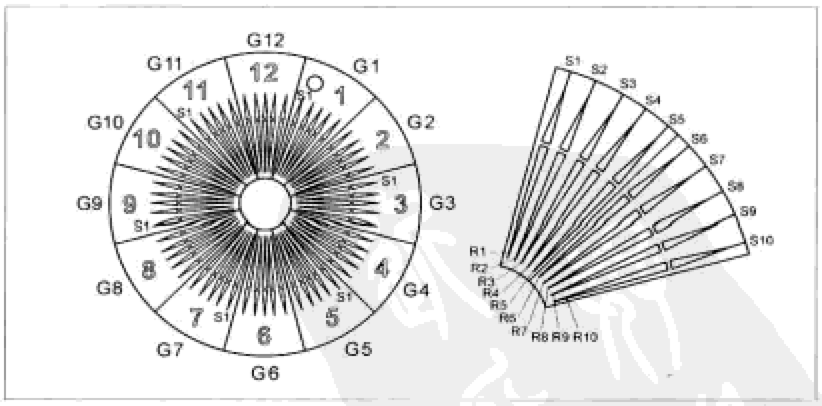


图2 VFD屏显示内容和显示屏笔段的对应关系

表1 引脚连接

端子序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
连接	F1	F1	F1	NP	NP	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	P16	P15
端子序号	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
连接	P14	P13	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	NP	NP	F2	F2	F2

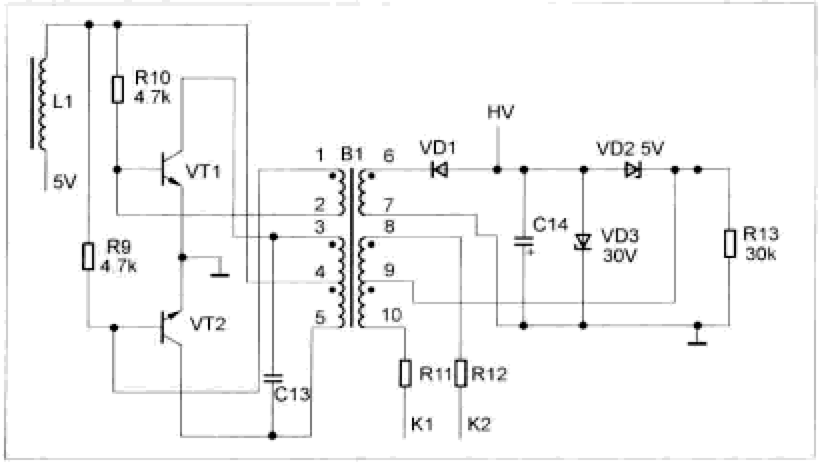


图3 灯丝交流电压和负高压直流产生电路

（12段）+S笔划（60段）+R笔划（60段）+圆点（1段）=133段”需要驱动。阳极笔划的连接关系也需要在制作前搞清楚，具体的关系表可以到《无线电》网站上下载。

元件的选型及电路设计

1. VFD驱动芯片的选择

因为VFD屏是个动态驱动屏，总共有133个显示段需要驱动，如果采用分立元件驱动，电路会比较复杂，显示效果也会不尽人意，所以笔者第一考虑是选用VFD专用驱动芯片。市面上比较常用的VFD驱动芯片有PT6311、PT6312、PT6315、HT16511、HT16512、HT16515等，但是因为PT6312、HT16512总共只能驱动22位（阳极+栅极=22），而VFD48-1202FN屏实际是28位（阳极+栅极=28），所以只能选用PT6311、PT6315、HT16511、HT16515来驱动才能满足要求。PT6311、HT16511是52脚的QFP封装，笔者感觉比较大，最后选择了44脚的QFP封装的PT6315。

PT6315提供了28个高压驱动引脚，8级亮度调节、2×16矩阵键盘扫描、4LED指示驱动等功能，且能提供+5V高电平和-30V低电平的驱动电平，其中包括16个阳极（Segment）引脚、4个栅极（Grid）引脚、8个段/栅复用引脚。PT6315与外部处理器的通信主要由4线串行接口完成，接口信号线分别为时钟CLK、选通STB、数据输入DIN、数据输出DOUT。实际使用中常常把DIN和DOUT连接起来，这样它只占用了处理器的3个I/O端口。在本设计中，因为并没有使用PT6315的键盘扫描功能，所以未用DOUT引脚。在实际驱动中，MCU完成对PT6315的设置后，无需再耗费资源对显示做更多的处理，只需要在显示内容变化时更新显示数据即可。PT6315可以灵活地配置为16阳极/12栅极输出至24阳极/4栅极输出中的任何一种显示模式。在不同显示模式下所能驱动的显示段数也不同，PT6315最大能驱动192个显示段，所以完全能满足VFD48-1202FN屏133个显示段的驱动要求。

2. 灯丝电压、驱动高压

接触过VFD的朋友应该都很清楚，灯丝和阳极、栅极电压的产生是个令业余制作者比较头疼的部分，在这里我仔细介绍一下2.4V交流灯丝电压和栅极、阳极-30V直流电压的产生。一般家用产品上的VFD驱动电源是厂家直接在电源变压器上定制灯丝和高压绕组，非常简单。业余条件下，也可以绕制变压器或者通过DC-DC变换来获取，笔者通过小型的EE13高频磁芯绕制变压器，配合振荡电路来一次性产生隔离的灯丝交流电压和负直流高压。

图3中VT1、VT2组成推挽式振荡电路,实际上是一个自激推挽式DC-AC升压变换电路，由阻尼电感L1、2个NPN三极管、2个基极电阻、1个谐振电容及有3个绕组的变压器组成。L1一端接变压

表2　元件明细表

元件标号	封装	型号	数量	备注
R1 R14	0805	10kΩ	2	
R2	0805	20Ω	1	
R4	0805	30kΩ	1	
R3 R5 R6 R7 R9 R10	0805	4.7kΩ	6	
R8	0805	1kΩ	1	
R11 R12	1206	1Ω	2	
R13	1206	30kΩ	1	
R15	CDS-5516	CDS	1	
R16	0805	100kΩ	1	
VD1	1206	IN4148	1	
VD2	1206	5.1V	1	
VD3	1206	30V	1	
C1	贴片	470μF	1	铝电解电容
C2 C4 C6 C8 C9 C12 C15	0805	0.1μF	7	
C3	贴片	100μF	1	铝电解电容
C7	贴片	22μF	1	钽电容
C10 C11	0805	15pF	2	
C13	0805	22nF	1	
C14	贴片	22μF	1	50V铝电解电容
F1	1812	500mA	1	自恢复保险
F2			1	
B2	MC306	32.768kHz	1	有源蜂鸣器
IC1	TQFP32	ATMEGA8L-8AU	1	
IC2	SOP8	DS1302	1	
IC3	SOP8		1	PMOS
IC4	TQFP44	PT6315	1	
IC5	IR3	IR	1	红外接收
V1	VFD48-1202	VFD48-1202	1	
VT1 VT2	TO-252	C5707	2	
VT3	SOT23	S8550	1	2TY
L1		100μH	1	
J1 J2	电源插座	3.5或5.5	1	
J3 J4	2mm	5芯插座	2	可选
BT1	CR1220	电池座	1	加电池
B1	EE13	变压器	1	
S1 S2 S3 S4		轻触按键	4	侧按

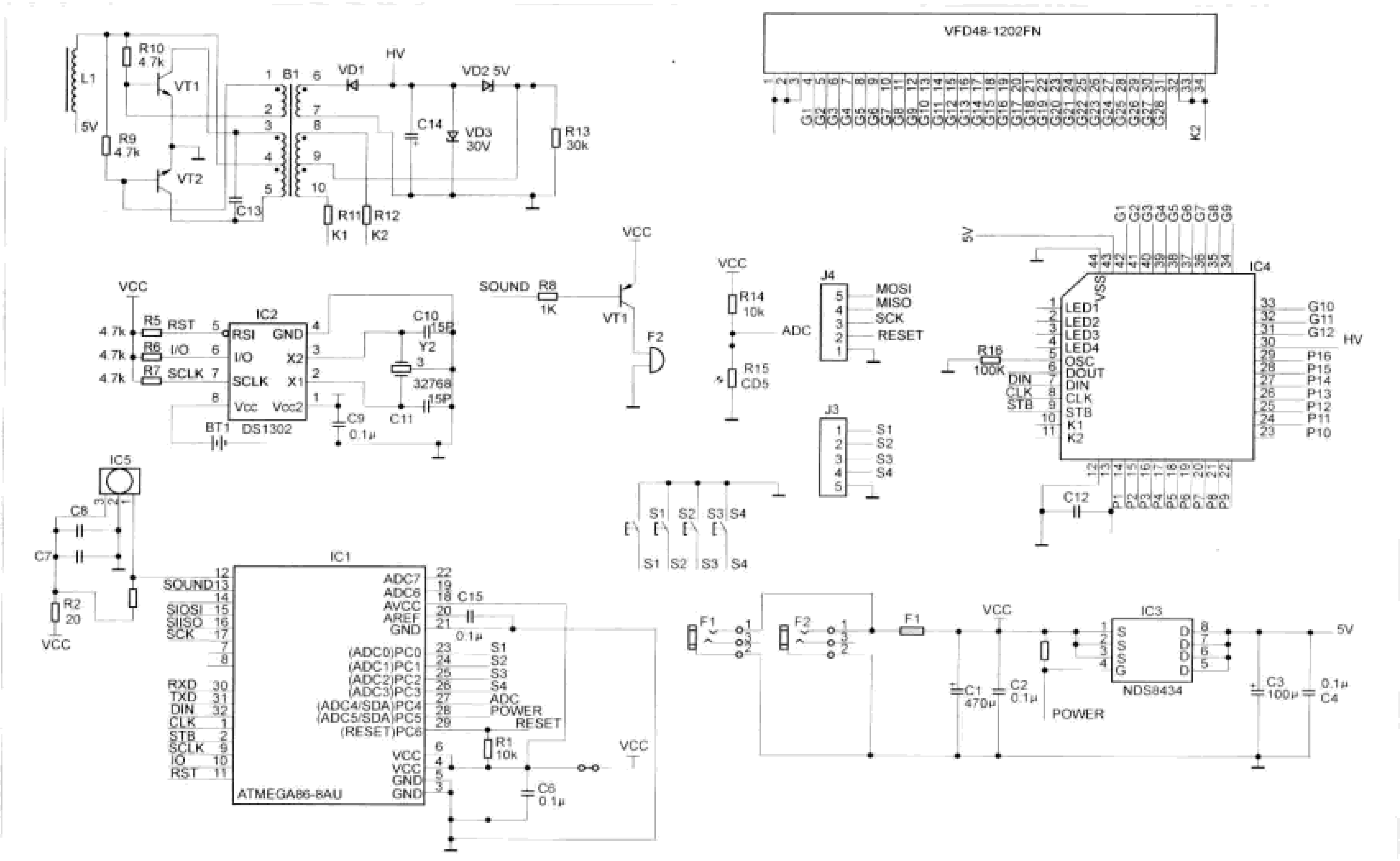


图4 完整的电路图

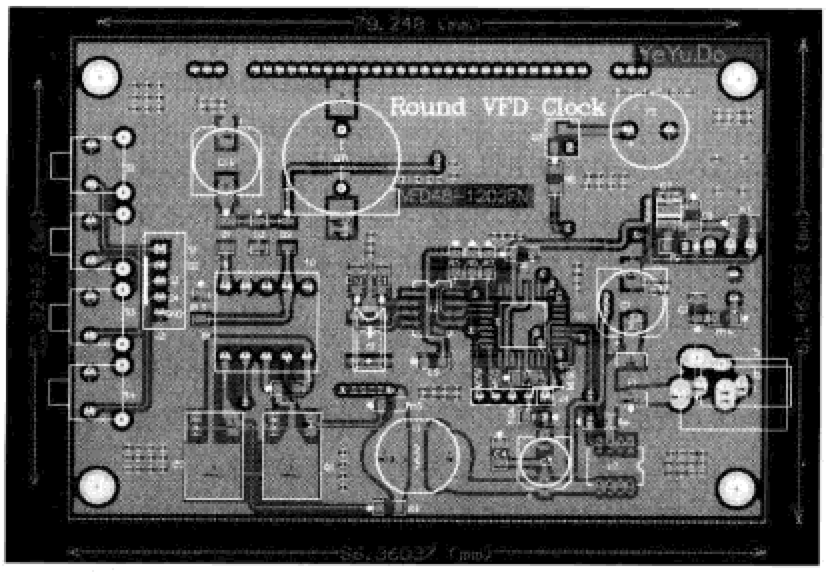


图5 电路的PCB图，实际尺寸图中有显示

器B1的中心抽头，提供一个高交流输入阻抗，R9、R10为VT1、VT2提供基极直流偏置，变压器初级有3个绕组，初级、主绕组双线并绕，中心轴头4脚连接到电感L1，3脚和5脚连功率三极管VT1和VT2的集电极，反馈绕组1脚和2脚连VT1和VT2的基极。由于开关管VT1、VT2的性能不可能完全一样，所以在接通电源的瞬间，Vcc向开关管基极注入的电流也不可能绝对平衡，流经两开关管集电极的电流也不可能完全一致。引起变压器的磁通变化在反馈绕组产生一定的感应电势，形成正反馈，产生振荡，在次级绕组感应出高频电压。

VFD48-1202FN屏的灯丝驱动电流基本要求达到0.5A，所以在绕制线圈时对漆包线的线径有一定要求。笔者在实际制作中，经反复试验，最后确定EE13变压器的绕制数据如下：①-②7T 0.15mm，③-④-⑤8T×2 0.35mm，⑧-⑨-⑩ 2T×2 0.35mm，⑥-⑦ 45T 0.15mm。从图3中可以看出，次级2组绕组是隔离的，灯丝采用双绕组变压器中间抽头的方式，负压通过VD1整流、滤波得到，通过VD2连接到灯丝中间抽头，这个VD2的作用就是产生截止电压，消除VFD屏漏光的现象，VD2一般选择2倍灯丝电压的稳压二极管即可。

3. 特色设计

实时时钟部分采用DS1302加高精度晶体和备用锂电池来保证时钟的走时精度和稳定可靠。MCU选择的是AVR的ATMEGA8L，在这里也充分利用了其特点：

（1）通过输入捕获ICP来实现红外遥控的解码，精确、可靠，

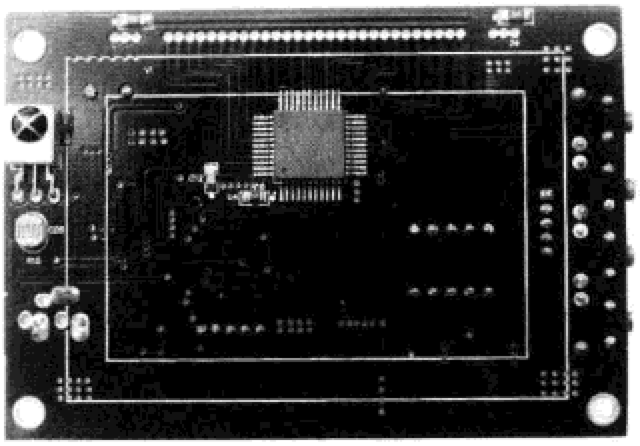


图6 安装VFD屏的那一面电路板

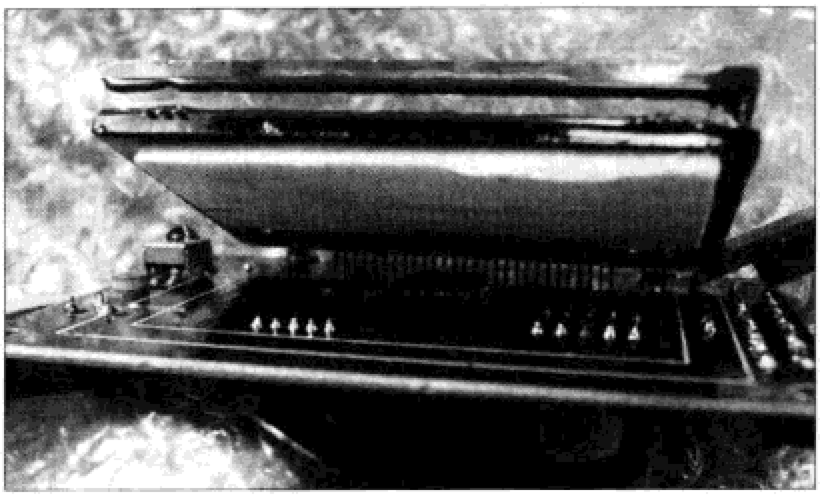


图7 将VFD屏安装在电路板上

通过小型遥控器可以操作本时钟所有功能；

（2）通过 ADC 实时检测环境光线的强度，实时调整显示屏显示亮度，以达到智能光控的目的。

（3）特有的硬件自动开关机功能，在关闭时完全切断 VFD 灯丝电压和负高压，真正意义上做到节能以及对 VFD 屏的保护。

经过实际验证，最终完整的电路设计如图4所示，图5为该电路的PCB图。表2所示的是元件明细表。

程序分析、设计

这个制作的电路不算复杂，我充分利用了AVR单片机的硬件资源。这里，我对程序的几个比较特别的地方进行一下说明。

1. PT6315驱动

PT6315和PT6311/PT6312一样，都是四线串口驱动，程序上大同小异，这里不再赘述。看到这个屏，可能好多朋友都和笔者开始见到时的感觉一样，怎样才能比较简单地驱动呢？因为这个屏既不是数字显示，也谈不上图形点阵显示，初看是一头雾水。最后，笔者仔细研究了阳极笔划的连接表后，采用了直接查表法，先根据表盘建查找表。

PT6315采用12Grid（栅极）×16Segment（阳极）的显示模式，刚好与VFD48－1202FN的G1～G12和P1～P16完全对应，大大简化了VFD48－1202FN的驱动程序，只需按照所建立的查找表，根据时、分、秒的值设置VFD48-1202FN相应的Grid和Segment，即可点亮VFD48-1202FN的相应指针。可以毫不夸张地说，整个VFD48-1202FN的显示驱动最核心的部分，就是这个查找表。

2. ICP捕获

采用单片机定时器1的ICP输入捕捉功能来实现红外输入接收，源程序可到《无线电》网站下载。

这个红外ICP输入捕获和解码部分的程序，有两点比较独特的设计：

（1）使用 INFRARED_TABLE 指针变量来指向真正的遥控器按键码表，其初始值指向程序中静态定义的默认码表，在主程序初始化 main 函数中，可以从 EEPROM 中读取预先存储的码表，这样就为遥控器按键学习功能以及适应不同编码的遥控器提供了可能。

（2）检测了相邻两次按键之间的时间间隔（通过其他的定时器计时），当时间间隔足够短，这两次按键将会组合成一个单独输入。例如，在设置时间的分钟值时，先按“3”，再按“0”，如果这两次按键足够接近，则直接解码为数值 30，这就避免了传统的设计当中需要在两次按键中加入其他的控制按键才能够分别设置分钟的十位和个位的麻烦。

3. ADC

通过ADC检测光敏电阻上电压的变化，可以很方便地粗略检测环境光的强度，控制VFD根据环境变化自动调节亮度的功能。ADC的相关代码也很简单，为保证测量值的可靠性，一般是连续测量几次之后取平均值进行平滑处理。

另外，在自动调节亮度时，由于光敏电阻具有非线性特性，而且人眼对光线强度的变化感知也是非线性的，就需要在编制程序上进行一些必要的处理。事先建立分段线性表，然后根据测量的ADC值，采用分段线性近似的方法来计算需要调节的亮度值。当然，实际应用中也可以采取其他的计算方法，不过相对而言，分段线性计算是最简单的，对VFD应用也足够了。

安装调试

1. 时钟的焊接、安装

很多人可能和我一样比较喜欢黑色的PCB，虽然贵点，制作周期长点，但和VFD屏显示的淡淡蓝绿色光辉还是很相配的，所

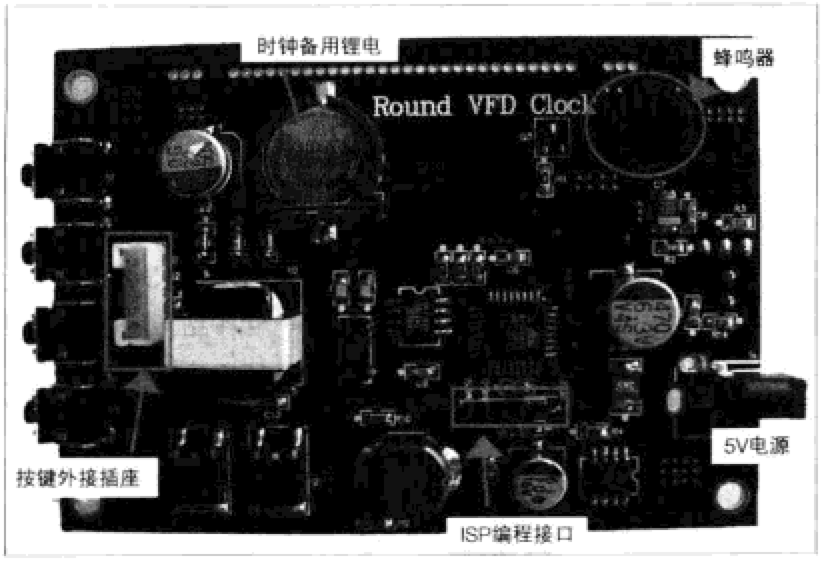


图8 装上时钟备用锂电池

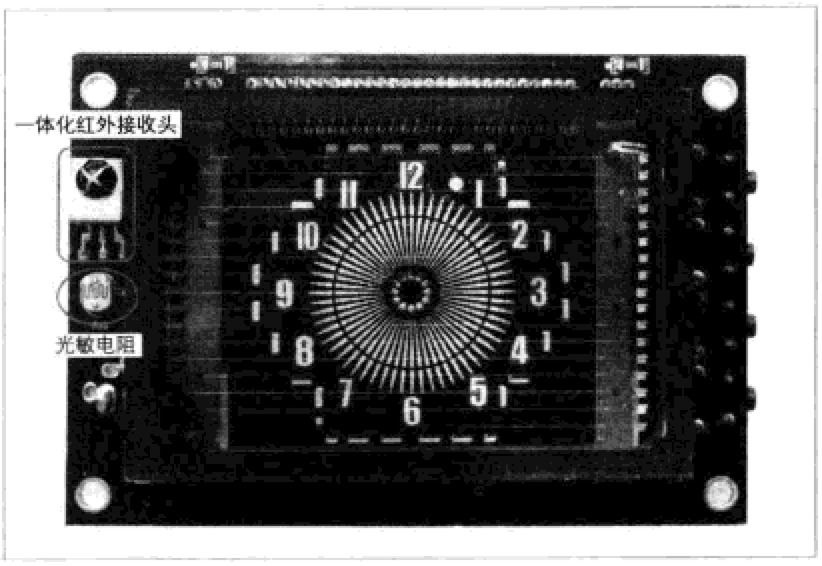


图9 安装好VFD屏后的电路实物

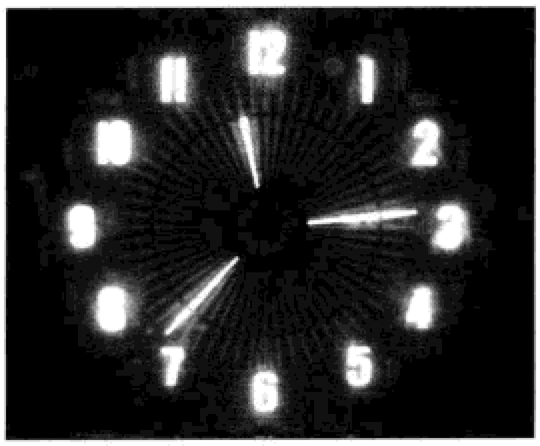


图10 正常显示状态

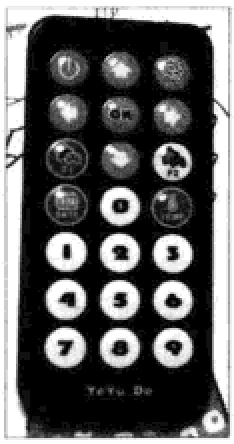


图11 遥控器

以我这次做板也选择了黑色。

根据电路图，安装好所有的元件（可以根据实际需要安装3.5mm或者5.5mm电源插座）。

电路正面见图6，驱动芯片PT6315在VFD显示屏下面，需要先焊接好。在安装VFD屏之前，先在电路板上贴上2mm厚的双面泡沫胶，用于做缓冲、固定、抗振，如图7所示。

焊接完后，仔细检查有无漏焊、短路的地方。为了美观和检查方便，可以使用无水酒精或者专用洗板水，将松香、助焊剂等有机杂质清洗干净。

这个指针式VFD时钟设计供电为5V直流，使用5V/1A的直流稳压电源或者开关电源就能满足要求。

焊接好后，实物如图 8、图 9 所示，几个关键部分说明如下：

（1）时钟备份锂电使用 CR1220 3V 一次性锂电，作为实时时钟芯片 DS1302 在停电时的走时备用电源，保证时钟掉电不停走；

（2）5V 电源插座可以选择 3.5mm 或 5.5mm 插座，基本上能兼容大部分市面上常用的电源插头；

（3）3 ~ 5V 有源蜂鸣器，作为 3 组闹钟的响铃之用；

（4）需要安装外壳时，为了使 4 个设置按键比较方便地安装，留有按键外接插座；

（5）ISP 编程插座是为了方便程序的升级或者重新烧写；

（6）一体化红外接收头，对红外遥控器发送的信号进行接收处理，安装外壳时需开孔或者使用不遮挡红外线的过滤片进行处理；

（7）光敏电阻对环境光线的变化实时进行响应，安装外壳时需开孔或者使用透明材料片进行透光处理。

2. 时钟的通电、测试

将时钟接通5V电源，先看看灯丝电压是否正常，因为是高频交流电路，普通万用表无法准确测量，有条件的爱好者可以使用带读数的示波器，看电压波形的峰－峰值电压是否在正常范围。业余条件下可以使用简单的方法判断：在黑暗处看灯丝微红即可。如果太红或者太暗，可以通过调整电阻R11、R12来改变灯丝电压，直到调整到正常范围。

通电后正常的显示状态如图10所示。图中指示的时间是上午11点14分37秒。其中，最短的代表时针，每12分钟会跳动一小格。秒针、分针都是长的指针，分钟每分钟跳动一小格，秒针是每秒跳动一小格。右上角那个圆点亮时代表时钟显示的是下午时间，不亮时则表示显示的时间是上午时间。

3. 时钟的调整、设置

一般现在做的电子时钟不管是条形或是点阵，时间显示基本都是数字，在设置或操作时就非常直观、方便。而这款时钟虽然是表盘指针式的显示方式，但和传统意义上的独立三根指针的钟表还是有很大区别的。如果要实现多种功能，设置上可能就会相对复杂点，不是那么好理解。笔者在规划功能设置时也反复思考过，在保证功能的前提下，尽量使调整、设置简单容易。

从图10中可以看出，显示上，内圈和外圈是独立的，都有60段，在设置时定义其为0~59数值用，比如设置HH：MM（小时：分钟）时间时，内圈的数值是代表HH，外圈的数值是代表MM。另外，表盘上1~12个数字，笔者以12个数字代表12个设置项的指示，具体对应关系见《无线电》网站上本文的相关资料。

所有设置都可用遥控器来操作。遥控器是我定制的21按键的小型红外遥控器，如图11所示，看上去比较直观，箭头是上、下、左、右的移动，SET是进入设置，OK就是确认。当然，使用通用的遥控器也可以，只需要在程序里面改译下红外遥控器键值就可以了，只是操作起来可能不够直观。

制作、编程工作完成后，在使用这个时钟之前，还需要进行一些设置，具体的设置方法本文不再详述，感兴趣的读者可以到《无线电》网站本文的相关资料中了解。

制作总结

这次制作多功能指针式VFD时钟，让笔者又一次好好学习了AVR单片机的一些特色功能，不仅完成了一件作品，还让我提高了对单片机的应用能力。其实，各种VFD屏原理是一样的，区别就在灯丝电压和显示段数的不同，将本文介绍的这个制作搞懂了，相信驱动其他的VFD屏也就很简单了。

VFD屏故障处理方法

在制作过程中，采用专用VFD驱动芯片会比较方便，有时也可能碰到一些问题：

鬼影

VFD屏工作时某些不应显示的图形发光，但亮度比其应显示的图形暗得多，这就是所谓VFD荧光显示屏的鬼影或叫虚像。通常的原因有：

（1）VFD屏没有足够的截止电压，这个数值一般是灯丝电压的2倍；

（2）栅极扫描脉冲的位与位之间消隐时间不足（一般需要10~20μs）；

（3）有些VFD屏因为显示段比较多，屏内阳、栅极布线会很密，当相邻脚位上串入大于10V（这个电压值主要看屏内走线情况，在同一块屏的不同引脚间电压也会不一样）的电压杂波，会使得相邻各位的栅极无法有效处于关闭状态，导致阳、栅极上的输出相互串扰。解决的办法是在阳、栅极与屏间串入一只1kΩ左右的电阻，同时在屏的阳、栅极对-VEE并联一只470pF左右的电容，再稍加长一点消隐时间，或者调整驱动IC的工作频率（一般是调整RC振荡地址）。

阴影

所谓阴影，是指VFD荧光显示屏工作时，显示图形的周围或端部比中央部位暗，产生阴影的主要原因是工作电压不合适。

（1）截止电压偏低，加速电压过低，使电子不能均匀地进入阳极，导致荧光显示屏亮度降低，严重时会产生阴影。

（2）阳、栅极电源的电流容量不够大，当阳、栅极导通，电流增加时，阳、栅极电压明显降低，波动值超过额定值的±10%，就要引起亮度的不匀和阴影。

屏暗或不亮

屏无显示，排除软件驱动的时序问题外，一般情况是VFD供电电源有问题，灯丝电压或阳、栅极电压没有或者达不到要求所致。

字符闪烁、漏光、重叠

（1）主要原因是写屏刷新慢或消隐时间太长，如果采用如 PT6315 或同类型的 IC 作驱动，问题就出在芯片时钟振荡外接电阻上，电阻变质或者虚焊将使芯片内部工作时钟变慢。

（2）如果驱动方式是以 MCU 的 I/O 直接驱动时，因为 PCB 布线造成脉冲的延迟，如果程序处理脉冲之间没有消隐时间，就会产生信号的部分重叠，从而产生错误的显示或漏光。扫描信号每位之间应设置 10 ~ 20μs 的消隐时间，消隐时间过长，将会导致亮度减低。其次，为了避免因肉眼的视觉残留造成的闪烁现象，脉冲的扫描周期必须设定在 20ms 以下，特别在观察者移动时，更易产生闪烁的现象，最好能在 10ms 以下。

另外，VFD都是玻璃封装，价格比较昂贵，在使用时要特别注意：

（1）玻璃制品易碎（特别注意真空嘴，虽然本制作上，这个 VFD 屏没有那种伸出来的玻璃嘴，但还是有抽气留下的内置抽气嘴，也要注意，防止硬物戳伤）。

（2）灯丝易断，安装时防止正面冲击和振动，以免造成荧光粉脱落、损坏。

（3）使用时避免正面聚光照射 VFD 屏，可以使用滤光片并防止静电。

（4）使用时尽量远离强磁场，防止由于磁化改变电子方向，影响显示效果。

（5）供电一定要使用符合要求的稳压电源。

家庭实用制作

DIY 实用的3W LED灯

◎尚时尚

近年来，1W 大功率发光二极管（LED）的性能有较大的提高，价位也在逐年减低，与之配套的3～5W LED的驱动器也大量上市，因此用1W LED制作的3～5W LED灯饰是目前LED灯市场上销售最好的（如射灯、球泡灯、天花灯等），这些灯主要用于商业照明，但也适用于家庭。本文介绍一种适用于爱好者制作的3W LED灯，它可以替代5～8W节能灯。

这个自制的3W LED灯可用于厨房、卫生间、走廊、阳台等场所的照明，也可以做成阅读灯、台灯。

灯的组成

3W LED灯由电路部分及机械结构部分组成。

1. 电路部分

3W LED灯的电路是较为成熟的电路，十分简单。采用E27灯头拧入灯座的电路设计，如图1（a）所示，若做成阅读灯，则再加一个电源开关及带插头的电源线即可，如图1（b）所示。

LED的供电电源是一种由市电供电的降压式AC/DC转换器加上电流及反馈电路组成的低压、恒流输出驱动器模块，属于开关型电源，且输入与输出隔离，效率较高、使用较安全。输出恒流电流为300～350mA，恒流精度达±5%。

这种驱动器模块（图2）在电子市场上可以买到。通常市售的驱动器模块除了电解电容器是穿孔式的，其他元器件都采用小尺寸贴片式，印制板是双面的，模块尺寸较小（可装入E27灯头内），价格也不高，市场零售价约6元左右。

笔者采用的3个1W LED及其铝基板从电子市场上也能买到（有的1W LED已焊在铝基板上，一起出售）。由于1W LED的质量、性能不同，价格有较大差别，根据笔者购买的经验，爱好者可以选择2～2.5元/个的1W LED，质量尚可。

2. 灯的结构部分

我采用了E27灯头做的这个3W LED灯，结构如图3所示。接柱组合件是由长度为30mm的M3螺钉（截取螺钉头）加上接柱组成。两根接柱组合件把散热器及顶板连接在一起，形成机构架，如图4（a）所示。如果有条件加工成图4（b）形状的接柱，则更合适。

图3中面板3与灯罩2之间有0.5～1mm缝隙，可使冷空气进入罩内，热空气从灯罩顶部的小孔散出，可更好地

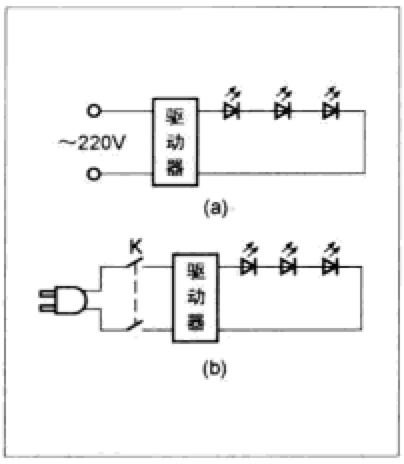


图1 LED灯电路示意图

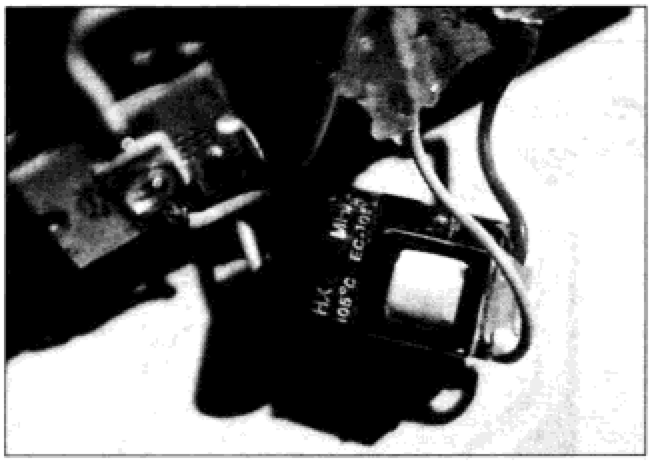


图2 驱动器模块实物

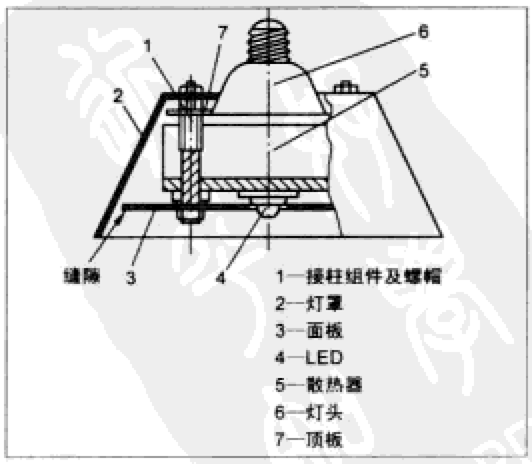


图3 灯的结构

降低LED的结温。

本文介绍的LED灯的材料是就地取材，因陋就简，有不少部件是利用废旧的材料做改制。其中，灯头是坏的节能灯的灯头改造而成，八角形灯罩是一次性塑料餐盒做的，顶板是废PCB（也可使用写字的垫板）做的。组成LED灯的主要元器件及结构件如图5所示。图中，右下部是用废PCB做的顶板，顶板上有很多$\Phi 3$小孔，用于散热。

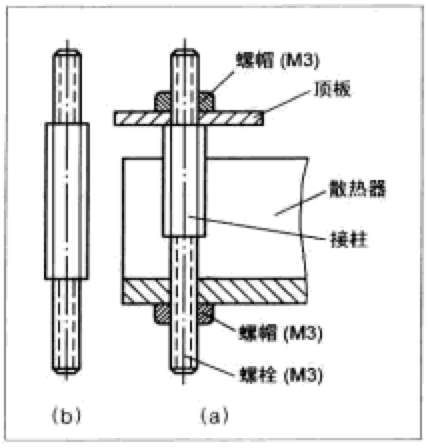


图4 接柱组件

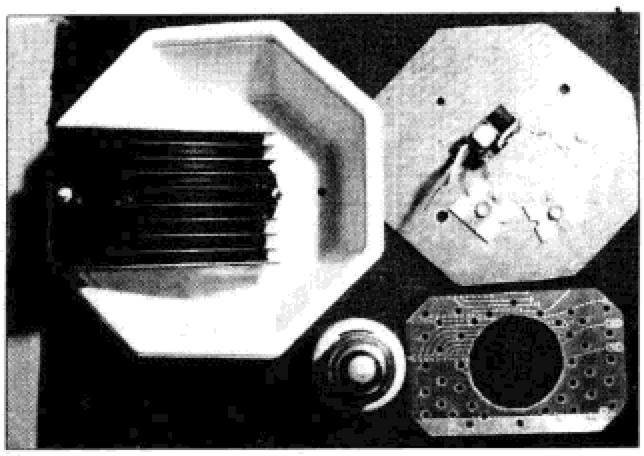


图5 制作LED灯所需材料

装配过程

在各零部件加工好后，要对有相互连接的零部件进行试装。装配过程如下。

① 灯头组件装配。灯头装入顶板，灯头轴线要与顶板平面保持垂直，用502胶固定，如图6所示。

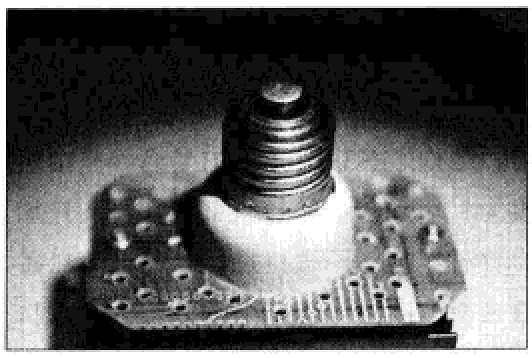


图6

② 灯头组件与散热器试装，如图7所示。

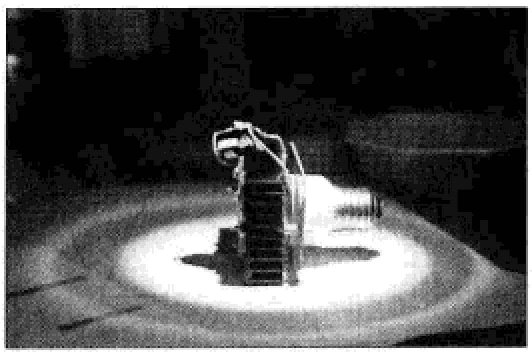


图7

③ 在散热器上粘贴LED，如图8所示。在粘贴前，PCB或铝基板与散热器之间要涂一层导热硅脂薄层，利用面板上已经钻好的3个孔来调整LED的位置（使LED的透镜与面板上3个孔的位置重合），用酒精棉擦去多余的导热硅脂（注意不要移动LED位置），最后在PCB或铝基板与散热器的接触边上涂一些502胶粘牢。

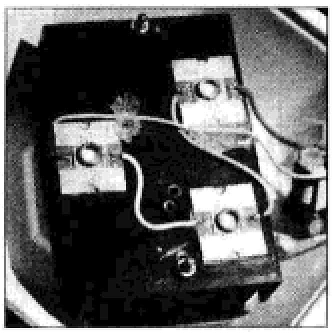


图8

④ LED间的引线、灯头与驱动器输入端的引线、LED与驱动器输出端的引线如图9所示（驱动器上有红线一端为输出端，红线接LED正极）。用热熔胶将驱动器粘在灯罩内壁上，为防止引线移动，也可采用热熔胶固定。

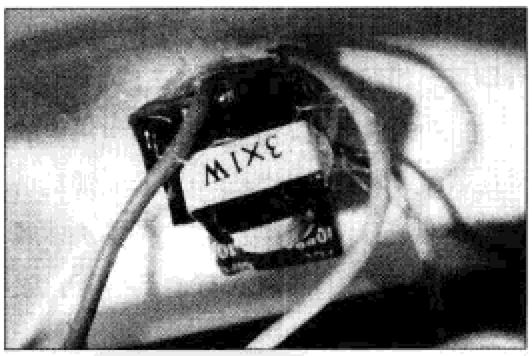


图9

⑤ 装上面板（尚未拧上螺帽），如图10所示，LED灯的顶端如图11所示。

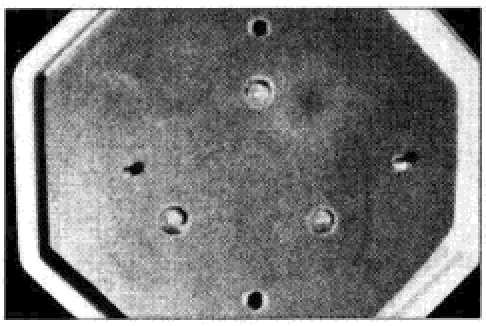


图10

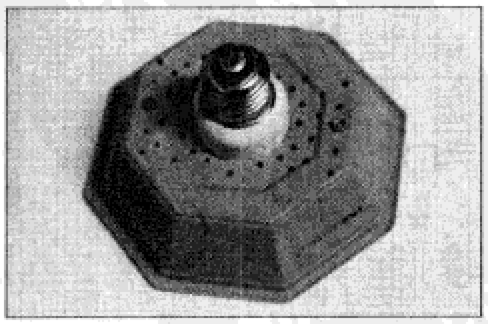


图11

制作要点

1. LED的散热情况对其寿命产生很大的影响，加工时要重视LED的散热孔设计，保证灯罩与外界的空气流通。

2. LED焊在PCB铝基板上时，LED的原型散热垫与铝基板之间要薄薄地涂一层导热硅脂，在LED的引脚与铝基板的焊盘上要先铺一层薄薄的焊锡。焊接时要使LED的散热垫与铝基板贴紧，绝不能有缝隙，如图12所示（LED没有与铝基板紧贴的话，焊锡过多容易形成缝隙，使LED的热量难以通过铝基板传导到散热器，容易过热而损坏）。另外，在焊LED前，必须认清LED的正、负极引脚（只能用数字式万用表测二极管挡，红笔接LED正极、黑笔接LED负极时，LED会亮），并且与铝基板上的正、负极焊盘对准后再焊。焊接LED的时间要短（小于3s），时间过长，LED也容易过热而受损。

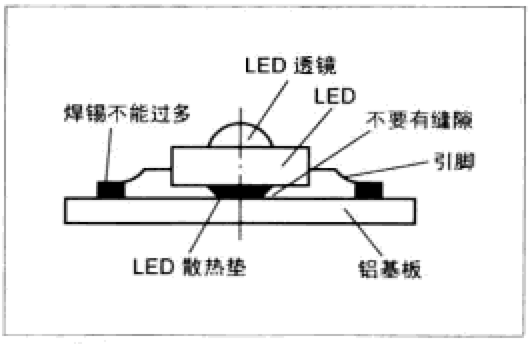


图12 焊接LED示意图

3. 若灯头引出的两根线（与驱动器输入端连接）不够长，要用两根软导线加长，在焊接加长线时，在焊接部分必须加绝缘套管。电路连接线焊完后，用数字万用表检查一次，确认连接无误，再将驱动器用热熔胶固定在灯罩内壁上。

元器件选择

1. 1W LED（图13）

同一型号的白光LED按其色温分成三类，如附表所示。冷光的光通量最高，也最亮(但有些刺眼)，暖白发出近黄光(暖色)，光通量最小，正白的光通量在中间，与自然光相似。实际中，可以根据灯的用途来选择。光通量选60～100lm的比较好，正向压降选3.0～3.3V的较为合适。

附表 同一型号下的LED色温与光通量

种类	色温（K）	光通量（lm）
冷白	5000～10000	最大
正白	3700～5000	中等
暖白	2600～3700	最小

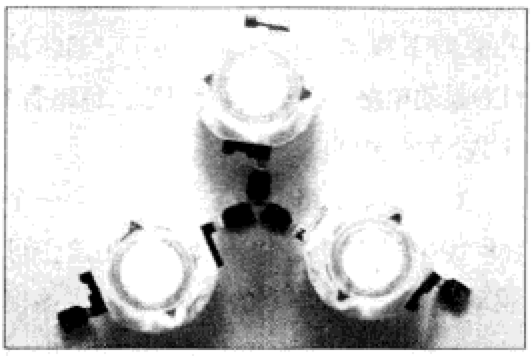


图13 大功率LED灯

2. 驱动器

建议买购输入220V（AC）、输出320mA恒流的3×1W LED驱动器（1W的LED额定电流为350mA），电流小一些，亮度与350mA差不多，但产生的热量要少得多，有利于降低LED结温，减小光衰速度，延长LED寿命，也可减小散热器体积。

3. 散热器

LED是直接把电能转换成光能的器件，但只有小于30%的电能转换成光能，其余的电能转换成热量，要靠散热器散去。若无散热器，LED会因过热而损坏，散热器尺寸太小，也会造成LED结温过高而降低光通量，增加光衰速度，降低LED寿命。

笔者采用的是一块尺寸为85mm×55mm×20mm的散热器，装上3个LED，在点亮一个小时后，散热器不烫手（<45℃）。爱好者如果找不到这种尺寸的散热器，可以用3个小尺寸散热器涂一层导热硅脂，用502粘贴在一块厚度为1～2mm铝板上，如图14所示。散热器的重量约25g。

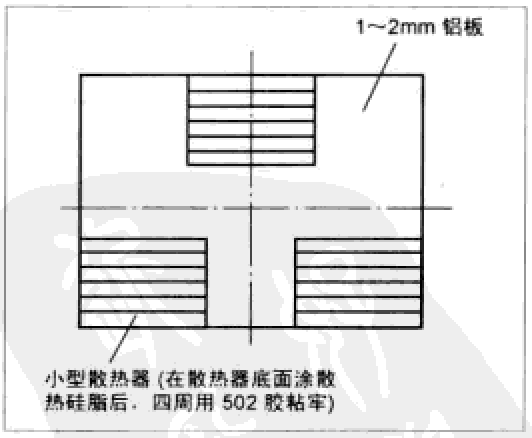


图14 自制散热器示意图

这种3W LED灯电路十分简单，无需调试，连线正确，通电就亮。花时间较多的可能会是在设计灯的结构及加工有关部件上。需要的工具，除Φ3烙铁头的电烙铁（20W）外，还要有手锯、小电钻、锉刀、胶枪及热熔胶，另外最好有一块3位半的数字式万用表（可测量LED极性）。

别小看这个灯的制作，从外形设计、材料选用到电路焊接、机械零件加工，乐趣多多。面对商场里动则几十上百的大功率LED灯具，自己动手做出这个3W的LED灯在实用性上更胜一筹。

旧灯改造成两挡调光的LED阅读灯

◎尚时尚

笔者有一个破旧的采用电子镇流器的荧光阅读灯，电路部分损坏了，灯管也没了，但灯的外壳、电源线及两挡调光开关都还完好，我想把此灯改造成一个可调光的3W LED灯。主要的改造部分就是需要设计、制作一个散热良好的LED灯条，将电子镇流器电路板换成LED驱动电路板，将装荧光灯管的地方换成LED灯条即可。

驱动电路及其工作原理

笔者设计了一个具有强光、弱光两挡调光的LED驱动电路，如图1所示。图中，用虚线框分割出3个区：A区是双刀三掷开关。图中开关处于0位，是灯的关断位置，开关向上拨是Ⅰ位（强光位）；开关向下拨是Ⅱ位（弱光位）。B区是LED驱动电路。C区是两串LED，每串有3个1W的白光LED。

LED驱动电路由以下部分组成：一个3×1W市电供电、输出350mA恒流、可驱动3个1W LED串联的成品LED驱动器模块，一个六反相器CD4069和电阻/电容构成的占空比为0.5、双输出的方波振荡器，及三极管VT1、VT2。CD4069组成的双输出方波振荡器电路如图2所示（图1中CD4069的连线是不完整的）。

图2中，反相器1及2组成占空比为0.5的方波振荡器。振荡器的频率f与电阻及电容的值有关，其关系式为

$f≈0.45/R_T·C_t$

式中，电阻R_t单位用kΩ，电容C_t单位用μF，则f的单位为kHz。R_S的值≥$2R_t$。若RT=1kΩ，C_t=0.033μF，则f≈15kHz。

反相器3及4为缓冲级、反相器5及6为输出级。反相器3和4、5和6并联可增加输出电流。一路输出为引脚11（Vout1），另一路输出为引脚10（Vout2），它们的输出波形的相位是相反的，如图2右边的波形所示。

CD4069的电源电压是LED驱动器模块输出的直流电压，为10.5V左右。双刀三掷开关由0位拨到上方（Ⅰ位），电路得电。若此时4069的11引脚输出高电平，则VT1导通，与VT1集电极连接的一串LED点亮。与此同时4069的10引脚输出的是低电平，VT2截止，与VT2集电极连接的一串LED不亮。当电源开关位置不变，振荡器一直在工作，这两串LED就交替亮、灭。振荡器的工作频率在15kHz时，则人眼完全看不出两串LED是在交替亮、灭的，只会感觉到两串LED都在亮，这时为强光挡。

当双刀三掷开关拨到下方（Ⅱ位）时，驱动器的输入端仍接入市电，但VT1的发射极与LED断开，VT1的发射极开路，使VT1截止不工作，则与VT1集电极连接的一串LED不亮，仅有与VT2连接的一串LED在交替亮灭，这是弱光挡。若开关在0位，电源断开。

本驱动电路有两个特点：1.驱动器电路轮流驱动两串LED，要比传统3×1W驱

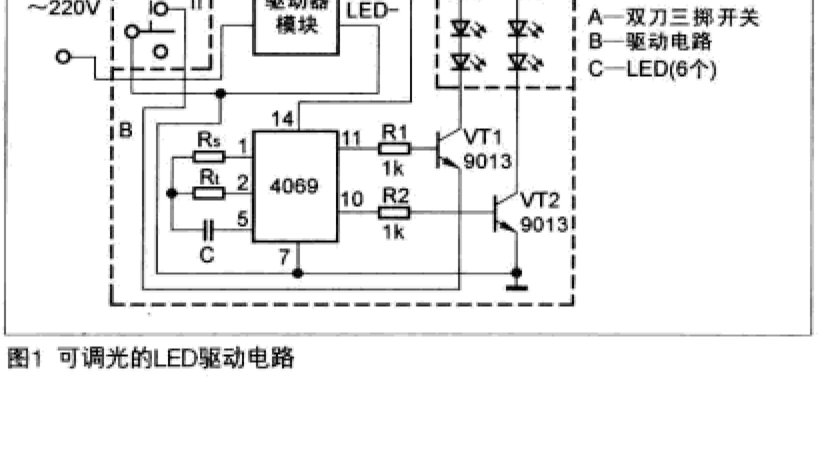


图1 可调光的LED驱动电路

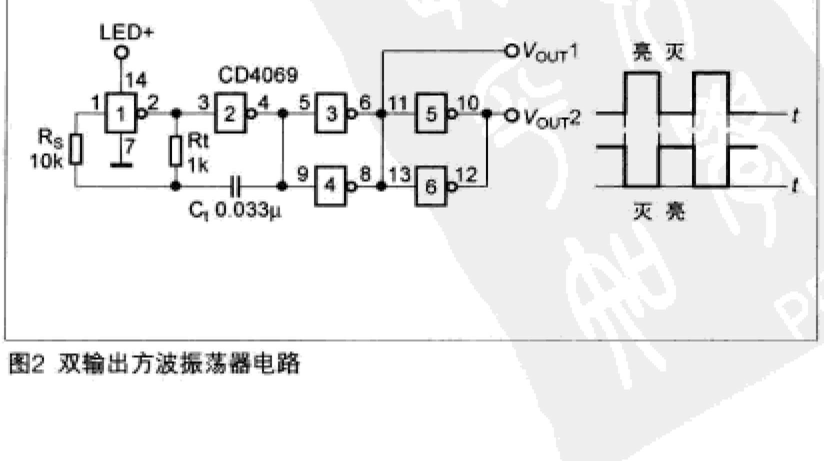


图2 双输出方波振荡器电路

动器驱动3个1W LED的发光亮度更高（约增15%亮度）；2.由于两串LED是轮流工作，每串LED亮和灭的时间是相等的，每串工作时间减半，则可增加LED的寿命。

为什么会增加亮度

用3×1W LED驱动器轮流驱动两串LED，其中还有一部分电流作为CD4069的工作电流及VT1、VT2的基极电流，则提供给两串LED的电流要小于350mA，这种情况下为什么LED亮度还会增加呢？

色光（如红光、绿光）LED的开关响应速度是很快的，如材料为GaAlAs做成的红和橙色LED，其上升时间t_r及下降时间t_f为10ns。白光LED是蓝光LED加上一层黄光荧光粉，其混合光为白光。由于荧光粉的余辉原因，在LED断电后，但荧光粉余辉尚在发光，有一个渐灭的过程，所以其下降时间远远大于单色光LED。一种下降时间快的白光LED，其t_f为120ns。两串LED轮流发光时，在一串通电结束时，由于LED中的荧光粉的余辉作用，这串LED会有渐灭的过程（因为它的t_f要比单色光大得多），这样就增加了LED的亮度，其示意图如图3所示。为了证实这一点，笔者做了一个简单的实验。

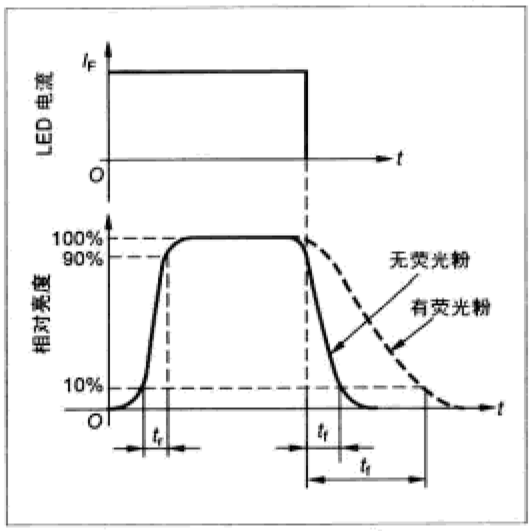


图3 LED发光亮度随电流变化示意图

增加亮度的效果实验

实验电路如图4所示。图4（a）与图4（b）中的3×1W驱动器及LED（CREE公司的3W白光LED）是同一个驱动器及同一串LED。输入的交流电压用调压器调到220V（AC），测量的照度计用同一个（图5，距离也一样）。用图4（a）电路，照度计的读数是696lux，将图4（b）电路分别用开关SB接在10引脚、11引脚时，其照度分别为419lux及465lux，其和为884lux。

虽然说，这个实验比较粗糙，不十分精密，如LED的中心与照度计感光中心重合度差（有一些测量误差），但还是可以看出有增光的效果。

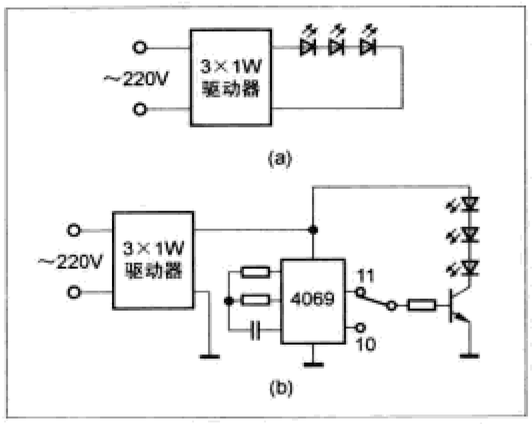


图4 亮度实验电路

驱动器电路板的制作

驱动电路是图1中的B区电路。驱动电路板是用洞洞板做的。在开一个槽的洞洞板上，直接将成品3×1W驱动器模块连接在LED+及LED-端上（驱动器模块与洞洞板用热熔胶粘牢）。其余元器件按图2连线焊接，如图6所示。在洞洞板上要根据原灯安装电子镇流器的安装孔，钻两个Φ3.2～Φ3.5的安装孔。

焊接好驱动器电路后，要认真地用三用表检测各焊件，是否有漏焊、错焊、虚焊及搭焊。

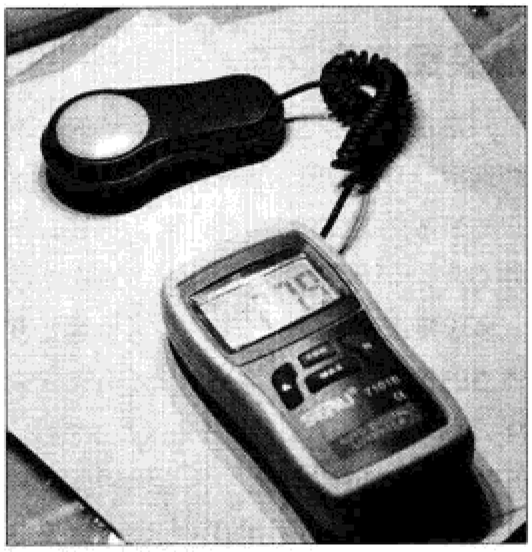


图5 照度计测量示意图

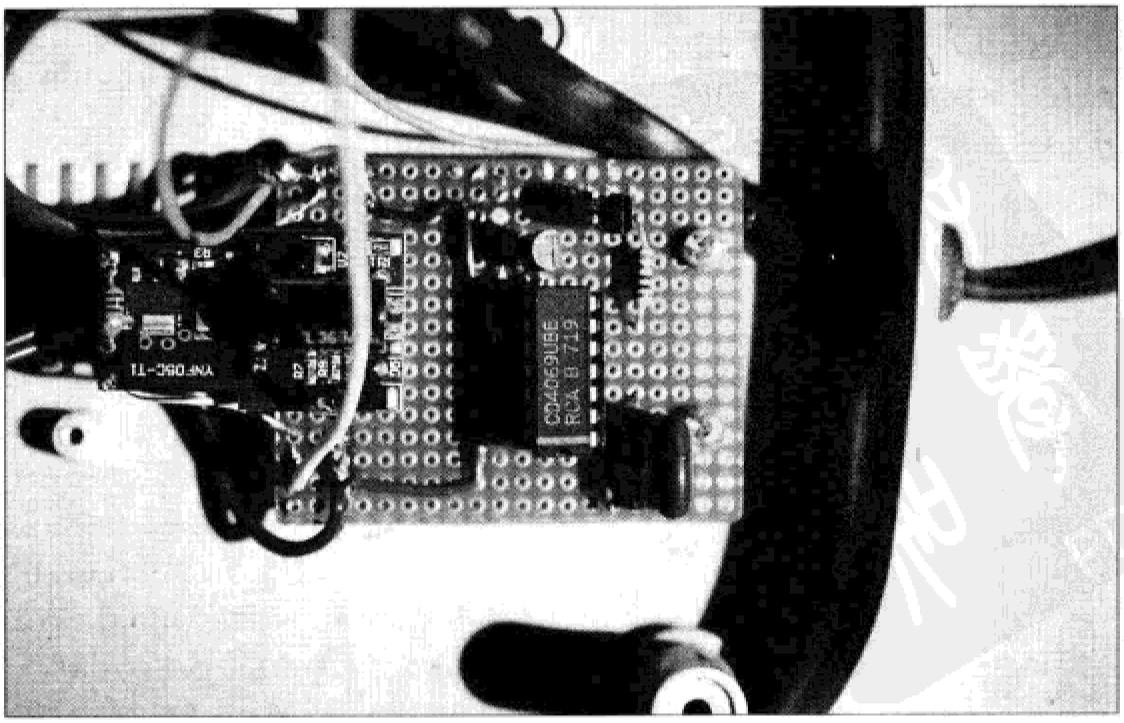


图6 驱动器电路板实物

带散热器的LED灯条制作

散热器是利用坏的铝骨架纱窗的型材框架做的，其剖面尺寸约19mm×7.8mm，壁厚0.8～1mm，长度约21cm。框架上原来涂有白色油漆，在LED安装面上用砂布除去，并按照原灯罩上的安装孔尺寸加工两个安装孔。

6个LED均匀分布在散热器上，1、3、5为一串，2、4、6为另一串，铝基板上涂导热硅脂后，在散热器上粘接、焊上连接线后如图7所示，再将LED灯条装在灯罩上。

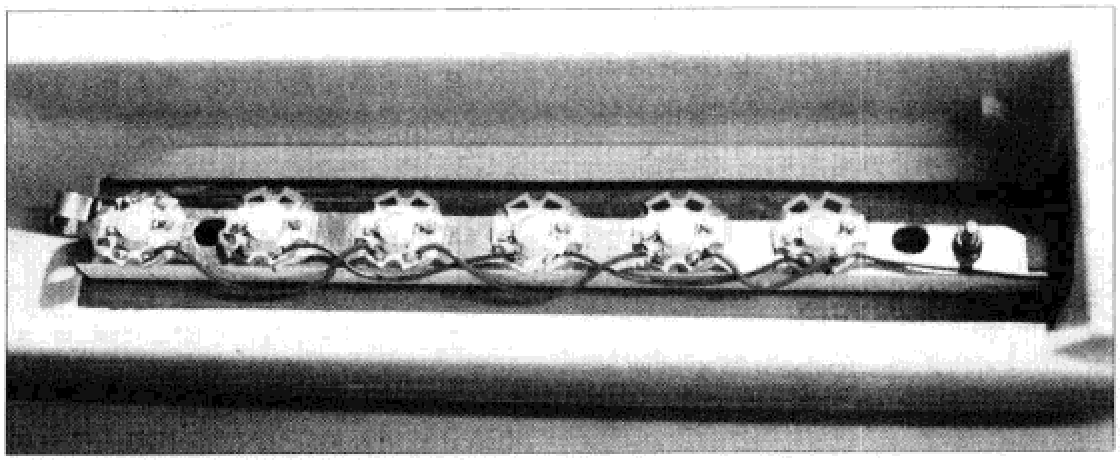


图7 将LED灯与铝基板粘接在散热条上

总装配工作

总装配工作主要是220V市电的电源线连接、开关和驱动电路的连接、驱动器板与带散热器LED灯条的连接。连线工作并不复杂，最好采用不同颜色的软接线（多股接线），便于检查。各连接线要有适当的长度，使各线不受力。所有连接线焊好后，检查有无漏焊及错焊，特别是开关所在的3个位置上。检查无误后，将连线整理一下，然后用螺丝钉将灯底座拧紧，将灯罩上的面板（图8）装上，点亮后的LED阅读灯如图9所示。

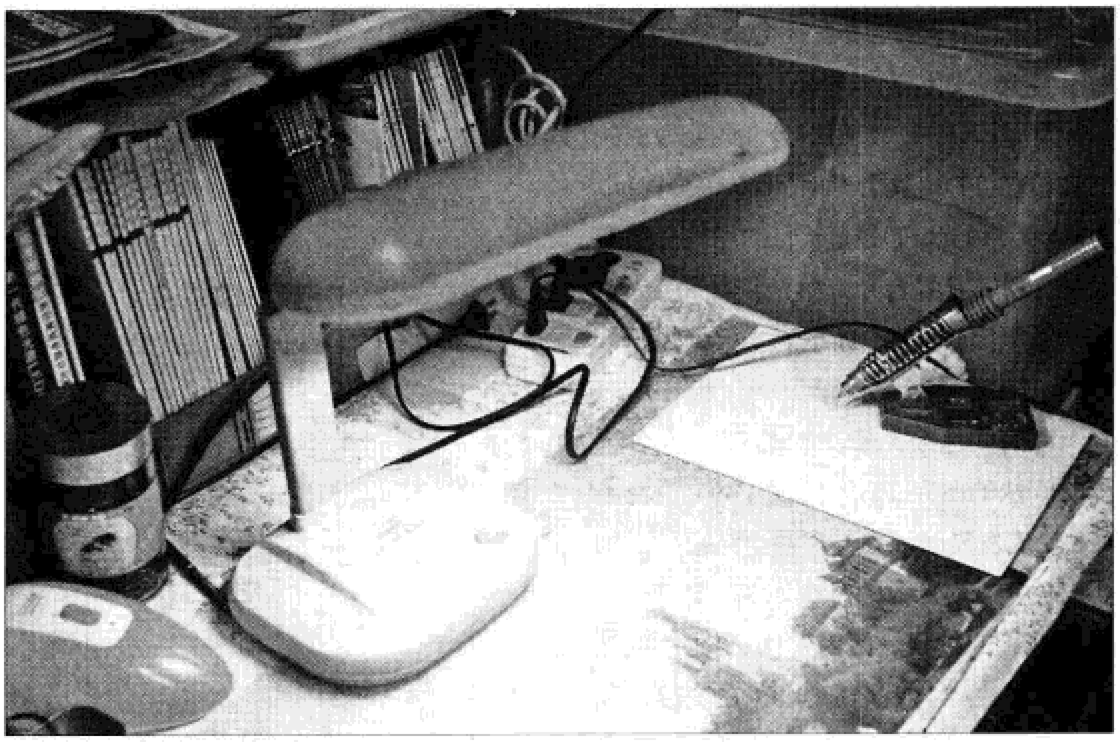


图9 改造后的台灯照明效果

这款3W LED阅读灯采用了6个1W正白LED，其亮度比用冷白LED要低，但光线柔和，宜于阅读。在弱光挡（LED距桌面320mm）的照度为266lux，在强光挡时，照度为460lux。

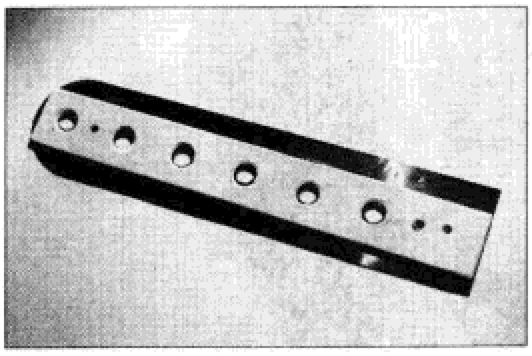


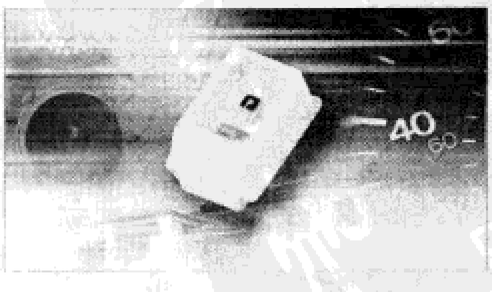
图8 灯罩上的面板

改造费用：3×1W驱动器模块共7元，6个1W LED及6个铝基板共13.5元。

新品速递

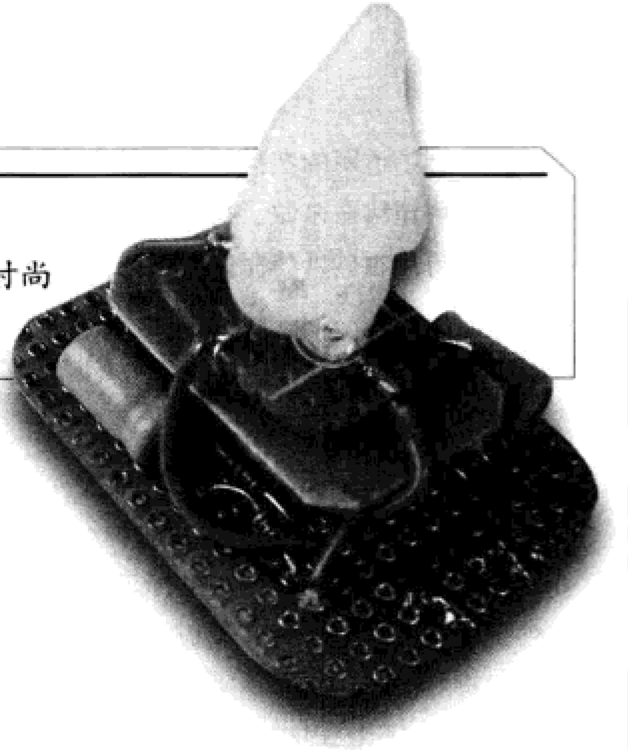
Visha推出超小封装的功率型迷你LED

Visha推出一系列采用超小SMD（2.3mm×1.3mm×1.4mm）封装的功率型迷你LED——VLMx23.系列。该系列器件具有大红、红色、琥珀色、浅桔色和黄色等几种颜色，采用先进的AllnGaP技术，其光输出增加了3倍，高达1400mcd，功率耗散高达130mW，驱动电流高达50mA。以上数据符合汽车应用AEC-Q101标准认证，因此该系列LED适用于车内仪表盘背光照明和车外重点部位照明等，也适用于交通信号灯和指示牌及各种设备的指示灯和背光。



动感电子蜡烛DIY

◎尚时尚



蜡烛是古代夜间照明的灯具，由于烛光淡雅、闪烁，幽情雅致，它又成了现代一种特殊环境的照明灯。例如，在喜庆的生日和烛光晚餐中，幽幽的烛光闪烁不停，会给人们带来极其温馨的气氛。

我们可以自己动手做一个动感极好的电子蜡烛。难度不大，成本也不高。

电子蜡烛的结构

本文介绍的电子蜡烛的结构如图1所示。它主要是由9V电池、电池盒、电路板、蜡烛头板、蜡烛头及半透明塑料杯组成。为简化电路，这里没有装电源开关，装上电池后蜡烛就亮，取下电池蜡烛就灭。

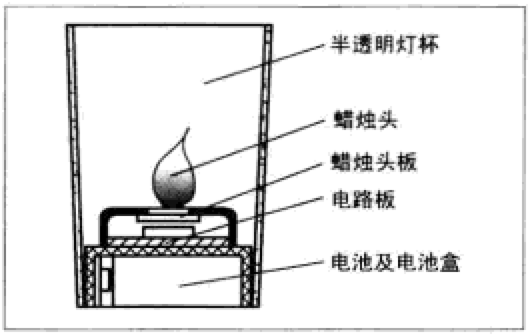


图1 电子蜡烛的结构

电路工作原理

电子蜡烛的电路如图2所示。它是由一块四与非门集成电路、一些电阻、电容及4个LED组成的。与非门1、2及与非门3、4接成4个反相器，并组成两个振荡频率不同的方波振荡器。LED1、LED2分别接在频率较低的输出端3脚、4脚上，该振荡器输出两个反相的方波，使LED1与LED2交替亮、灭；LED3及LED4分别接在频率稍高的振荡器输出端10脚、11脚上，LED3及LED4也是交替亮、灭的。由于LED1、LED2交替亮、灭的频率与LED3、LED4交替亮、灭的频率不同，LED之间安装的位置也有高有低，使蜡烛灯的火焰有较为明显的闪烁效果，加上半透明塑料杯，烛光效果十分逼真。

振荡器的频率与R2、C1或R4、C2的乘积有关，其关系式为：$f \approx 0.45/R_xC_x$，式中的R_x、C_x为振荡器的电阻、电容值。

R2、C1组成的振荡器的频率约1.36Hz，R4、C2组成的振荡器约为13.6Hz。这两个振荡器的频率要求并不严格，可以改变电阻值来改变其频率，以实现更逼真的蜡烛光效果。若R2、R4改变后，R1、R3也要改变，满足R1≥2R2，R3≥2R4。图2中的电池工作电压为6~9V，工作电流6~10mA。

结构件的要求及制作程序

电子蜡烛灯电路部分的制作并不难，而较费时的是找齐合适做灯的结构件：半透明的塑料灯杯、塑料电池盒、一个塑料瓶盖。这些结构件的尺寸要相互匹配，做成“蜡烛”的塑料瓶盖内要能装下30mm×40mm电路板，做成电池盒的塑料瓶盖要装得下6F22型9V电池和电池扣，如图3所示。我使用一个服药用的半透明塑料量杯做灯杯，将电池盒、蜡烛放入灯杯中，如图4所示。

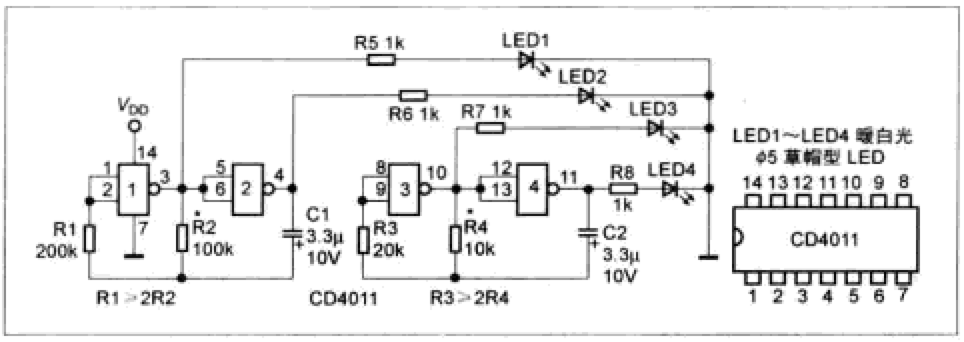


图2 电路原理图

图3 电池盒

图4 灯杯

找不到半透明的塑料杯也可用尺寸合适的透明塑料瓶来做。将瓶的上部用锯截去，再用粗砂纸将瓶体打磨成半透明灯杯。

电路板的制作

将30mm×40mm的洞洞板去掉4个角，并能放入蜡烛杯中，按图2所示焊接元件。初学者可以先在洞洞板的中部焊接14引脚的IC座。采用IC座焊接后，不会出现因焊错而反复焊接使引脚过热而损坏IC的情况。较熟练的爱好者可以直接焊上CD4011，用Φ0.5mm左右的裸铜线搪锡后焊IC的短接线（如1、2引脚，3、5、

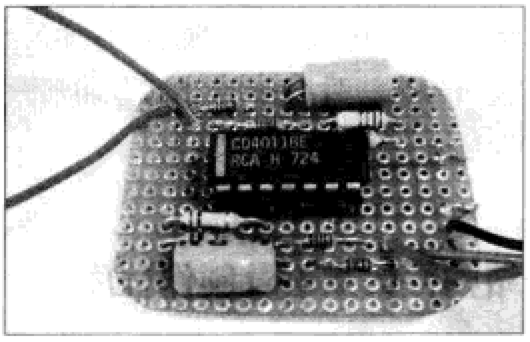


图5 电路板正面

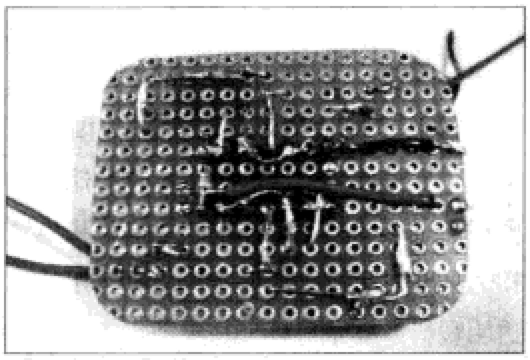


图6 电路板背面

6引脚短接等）。焊完引脚短接线后用三用表的电阻“Ω×1k”挡测一下，看焊接是否正确（如1、2引脚应“通”，2、3引脚应“不通”）。接下来焊接其他元器件，最后再焊接蜡烛头的5条引线。

焊好的电路板正反面如图5和图6所示。

蜡烛头的制作

蜡烛头由4个Φ5草帽形暖白LED、一小块单面洞洞板（蜡烛头板）及热熔胶做成。4个LED插在单面洞洞板上，如图7所示。将4个LED的负极焊在一起成为接地端，将4个LED的正极引脚焊在焊盘上后，将其引脚翻到无焊盘的一面，如图8所示（图中仅画出两个LED的正极引脚）。

在4个LED上用胶枪将熔化的胶粘成蜡烛头。由于热熔胶熔化后的胶液容易变形，蜡烛头要分几次做成。先做蜡烛头中心部分，等胶液冷却凝固后，再分几次上胶，形成蜡烛头。做成的蜡烛头如图9所示。

电子蜡烛装配

将电路板上的5条引线，分别与4个LED的正极及地线连接。连接时要注意的是，LED3、LED4接频率高的振荡器，LED1、LED2应接频率低的。为防止蜡烛头板与电路板之间有短路，在它们之间垫了一小块塑料板，装好的电子蜡烛电路如图10所示。

电池盒制作

用废弃的9V方块电池拆下的电池正、负极用作电池扣。在电池扣上焊上电源线（红色为正极、绿色为负极）。要注意的是，电池扣的正、负极与电池上的正、负极是相反的。

在电池盒的顶部边缘上用烙铁烫出一个Φ3mm左右的孔（电池上的电源线通过此孔与电路板的正、负极连接）。若电池装上电池扣放入电池盒中有间隙，则要在电池盒内装一个弹簧卡子，使电池夹紧在电池盒中（不会从盒中掉出）。弹簧卡子如图11所示。弹簧卡子用热熔胶黏在电池盒的内壁。

总装配

1. 将电池扣上的电源线穿过孔与电路板上的正、负极焊接。

2. 电路板的中心与电池盒中心对准后，用热熔胶将电路板粘贴在电池盒顶部。

3. 在做成蜡烛的瓶盖上用烙铁烫出一个可穿过蜡烛头的圆孔，穿过蜡烛，将瓶盖用热熔胶粘在电池盒上。

4. 将半透明塑料杯的底部锯掉，无底的塑料杯套在电池盒上（用热熔胶粘好）。至此，装配工作完成。

爱好者不必要完全按照本文的样子去仿造，可以根据自己的设想及能找到的材料和元器件去创作，设计、制作一个新颖的电子蜡烛。

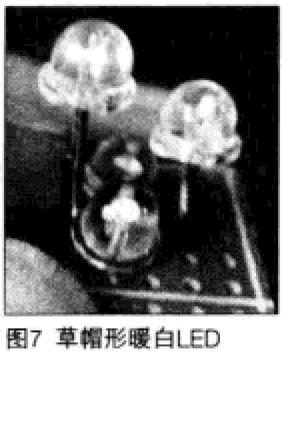


图7 草帽形暖白LED

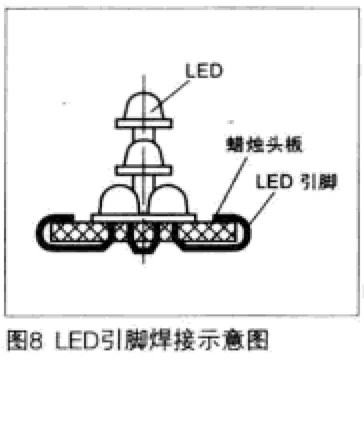


图8 LED引脚焊接示意图

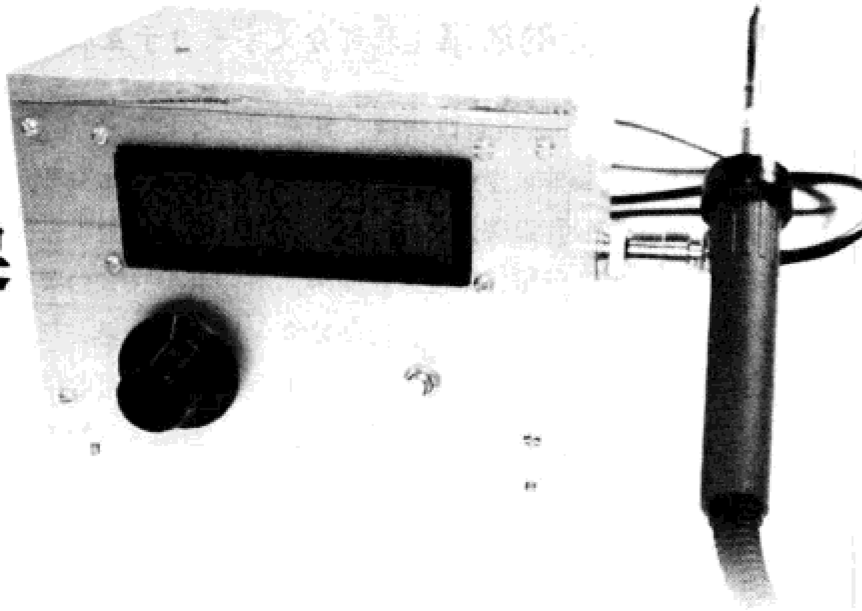
图9 热熔胶做成的蜡烛头

图10 电子蜡烛

图11 弹簧卡子

◎陈建皓

T12白光数显控制器制作经验分享



写在前面：我是一名电子爱好者，大概是因为父亲的缘故，很小的时候就开始接触电子制作，订阅《无线电》的历史更可以追溯到20年前念小学的时候了。大学，我选择了计算机专业，和电子专业“擦肩而过”。但也许正应了那句话，“站在月球上看地球”，我以一个软件架构师的角色来分享我的电子DIY经验，或许会给大家带来另一个独特的视角。

《论语》中谈到：“工欲善其事，必先利其器”。在电子制作中，焊接工具就是最重要的“器”。焊台是一种电子焊接工艺的手动工具，其出色的温度控制能力（温度补偿、升温及回温速度），是区别于传统烙铁的显著特征。

焊台按其种类分，又有恒温焊台、热风拆焊台、高频无铅焊台等之分。从品牌的选择上看，国外焊台品牌比较知名的有WELLER威乐（德国）、CT（美国）、HAKKO白光（日本）、OKI（日本）；国内焊台品牌有安泰信（ATTEN）、速工（SUGON）、高迪（GORDAK）等。那么，就让我们先从本次的主角HAKKO白光焊台下手。

焊台与传统电烙铁相比，其优点体现在以下几个方面（以下文字来自于百度百科）：

- **效率**：焊台的效率相对较高，热效率可以达到80%左右，一般电烙铁能有50%就不错了。
- **能耗**：焊台能耗较低，因为到了调节好的温度，就不再加温，相应的能耗就比较低，也就是说，同样的焊接效果，焊台用电较少。
- **回温**：焊台的回温速度较快，工作效率较高。
- **耗材寿命**：焊台的温度得到控制，不会无限升高，所以，烙铁头的寿命和发热芯的寿命较长。
- **安全**：焊台的手柄电压只有24V或者更低，属于安全电压，一般不会出现触电现象。
- **防静电**：焊台具有除静电功能，一般电烙铁是没有的。

认识白光

HAKKO（日本白光株式会社）已有超过50年生产先进焊接、除锡及表面封装工具、防静电产品和吸烟系统的经验。白光（HAKKO）是世界上手工焊接的顶级品牌之一，一直深受用户好评。白光电烙铁早在20世纪70年代就开始采用陶瓷发热芯，并且开发了当时全球首台IC温度控制电焊台。

白光成品的产地大部分是日本，一部分是新加坡、马来西亚，在美国也有工厂，但在中国大陆、台湾地区却没有工厂。白光的烙铁头，尤其是一体化的的烙铁头（T12系、T10系、T20系等）全部是在日本工厂由日本工人手工组装的。

白光烙铁头分为多种系列，900M系列、900L系列、900S系列、918系列、920系列、924系列、980系列、T4系列、T10系列、T11系列、T12系列、T13系列、T14系列、T18系列、T20系列、N452系列和N454系列。每个系列再细分为多个型号，并与一个或多个焊台配对使用，因为篇幅限制，这里就不一一列举了。

“白菜”白光的故事（此部分文字来自于互联网，略有改动）

白光的地位和品质有口皆碑，其产品的设计和质量都非常专业，在国际市场上享有不错的信誉和口碑。白光的产品被很多电子工厂和设计维修单位广泛使用。作为典型的日货，白光质量高，但是其价格也相当昂贵，其产品使用者主要是专业用户，除发烧友外，一般业余电子爱好者通常不会购买白光。

然而，“白菜”白光的出现，改变了这一切。近年来，白光之所以在广大业余爱好者中这么火，也就是依赖所谓的“白菜”白光。

国内的很多电子厂大量使用白光的专业电烙铁作为其生产工具。烙铁头是一种易损的消耗品，因此电子厂每年都大量淘汰磨损的旧烙铁头。以前这些烙铁头都是作为废金属进行处理，但是其中一类T12型号的旧烙铁头引起了有眼光的“商业人士”的注意。

T12是一种发热芯和烙铁头一体的特殊元件（后面将有详细的介绍），采用12～24V低压直流供电，内部包含了一个测温用的热电偶元件，原本是配合白光的原装焊台使用的，效果非常好。

这些有眼光的人士注意到被电子厂淘汰的T12烙铁头多数并没有完全磨损，仍有使用价值。T12最大的优点是内含发热芯，所以不需要另购配套的手柄和发热芯，直接接低压直流电源就能使用。于是这些原本的电子垃圾就成了有使用价值的宝贝了，调节其供电电压就能调节烙铁的温度，做成简易的调温烙铁，而且价格非常低廉。虽说是二手的垃圾，但是据很多使用者的体会，比某些新的国产烙铁还好用，白光T12垃圾烙铁头一下就成了“第二春”的宝贝。

故事才刚刚开始。真正让二手垃圾白光T12成为炙手可热的明星的是福建长汀的一个名不见经传的小无线电厂开办的网络论坛里的一个“牛人”，他发表了一个用简单的运放IC实现T12自动恒温的电路，成本只要几元钱，真正实现了原本是高级专业设备的低压恒温电烙铁的“白菜化”，“白菜”白光因此得名。“旧时王谢堂前燕，飞入寻常百姓家”，从此T12一发不可收拾，成为耀眼的明星，坊间的各路人马纷纷开始仿制，各种电路板和成品如雨后春笋般涌现在淘宝网等各处，讨论的文章也贴满了各种论坛。一时间T12的身价倍增，从原来论斤卖的“垃圾”成为炙手可热的抢手货，有些型号甚至成为“一票难求”的宝贝。

1. 关于T12烙铁头不得不说的几件事

T12烙铁头因其头部形状不同，又细分为84个子型。其中，常用且容易买到的有T12-B、T12-BL、T12-BC2、T12-K等。

图1是T12烙铁头的结构示意图，图2是实物图，从结构上看，T12烙铁头由以下几个部分组成：尖端（Tip）、热电偶（Sensor）、发热体（Heating element）以及接头（Plug）。这仅仅是示意图，在实际解剖中，我们会惊奇地发现，T12发热体（Heating element）采用的加热丝是把两种不同的合金丝连接起来，这样的设计使得热电偶传感节点与发热体合二为一，由此我们不得不佩服设计者的匠心独运。热电偶传感节点遇到温度变化的时候，就会产生一个有极性的电动势。

热电偶是利用“塞贝克效应”原理来进行温度测量的，这里就不再详细介绍了。

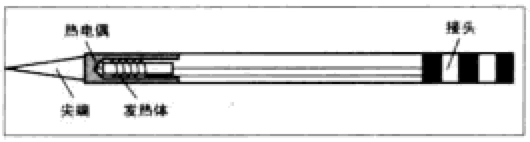


图1 T12烙铁头结构示意图

图2 T12烙铁头实物图

将热电偶的温度与电动势的关系绘制成表格，就是所谓的热电偶分度表。采用标准材料制作的热电偶（如K型：镍铬－镍硅、N型：镍铬硅-镍硅等），其分度表都可以查询到。然而，T12烙铁头的热电偶分度表却不是公开发布的资料。行家们多半自行绘制，大致方法如下：

- *采用烙铁温度计测量温度，建议采用真品白光FG-100烙铁温度测试仪，以获取较高精度的温度测量值。*
- *通过调节PWM的占空比控制T12烙铁头两端的电压，进行持续或间歇性加热，使烙铁温度缓慢上升。*
- *加热间隙，采样烙铁头的热电偶产生的电动势，根据此时烙铁温度计的温度值，得到温度与电动势的对应关系。*

重复上述两个步骤，即可得到完整的热电偶分度表。需要强调的是，烙铁温度计的精度、AD采样的分辨率都会影响到热电偶电动势的测量，此外，不同类型的T12烙铁头对应的热电偶分度表也是有细微差异的。

2. 百花齐放的T12“白菜”控制器

- ***调压“白菜”***：可调电源，直接驱动T12，优点是便宜，缺点是只能调温，不能恒温。
- ***运放“白菜”***：首先通电对发热体进行加热，之后停止加热，通过运放对热电偶的取样信号进行放大，然后再与设定值进行比较，没达到则继续加热，达到就停止加热。运放“白菜”的优点是便宜、恒温、体积可以做得很小（一元硬币大小），缺点是不够直观、稳定度和精确度略差。
- ***单片机“白菜”***：基于单片机的温度控制和显示，控制方便、直观、精度高。

通过上面对“白菜”品种的分析，我们选择单片机“白菜”作为我们此次DIY旅程的对象。

T12白光数显控制器的制作

在网络上转了很久，下手了一款“T12白光烙铁控制器STC版”套件。这款套件的第一个版本诞生于2009年2月，有着广泛的用户群体，套件还不定期地根据用户反馈进行改造和升级，因此从成熟度来看，是相对较高的。套件特性如下：

◆ *基于1602液晶的温度控制和显示。*

◆ *支持12~20V的DC输入。*

◆ *采用旋转编码器作为温度调节的开关。*

◆ *支持自动温度递增及温度记忆功能。*

◆ *自动室温补偿。*

1. 认识套件

套件实物如图3所示。套件电路原理如图4所示。

◆ ***电源部分（VCC-5V）***：采用典型的34063降压电路为78L05供电，34063输出电压单纯由R11、R3决定，具体为1.25×（1+4.7kΩ/1kΩ）=7.125V。78L05输出5V电压为单片机、液晶屏供电。

◆ ***单片机部分***：采用内部晶体振荡器方式。MCU通过一路ADC（ADC2/P1.2）采样NTC热敏电阻，获取室温，进行室温补偿，MCU采用4线方式驱动LCD1602，MCU输出一路PWM（PWM1/P3.5）控制8050驱动NMOS管SSR2955控制T12烙铁头；MCU通过一路ADC（ADC0/P1.0）采样，经运放放大T12热电偶信号。

◆ ***液晶显示部分***：RP1构成了1602的对比度调整电阻，1602采用4个IO驱动方式。

◆ ***T12控制及温度采集部分***：MCU输出PWM控制8050，8050驱动NMOS管SSR2955控制T12烙铁头，LM358作为同相放大器，其放大倍数由R9、R1决定，放大倍数为300倍。T12采用间歇加热方式，MCU通过AD采样T12的温度，并判断与实际设定温度的高低，通过输出PWM调整加热率。

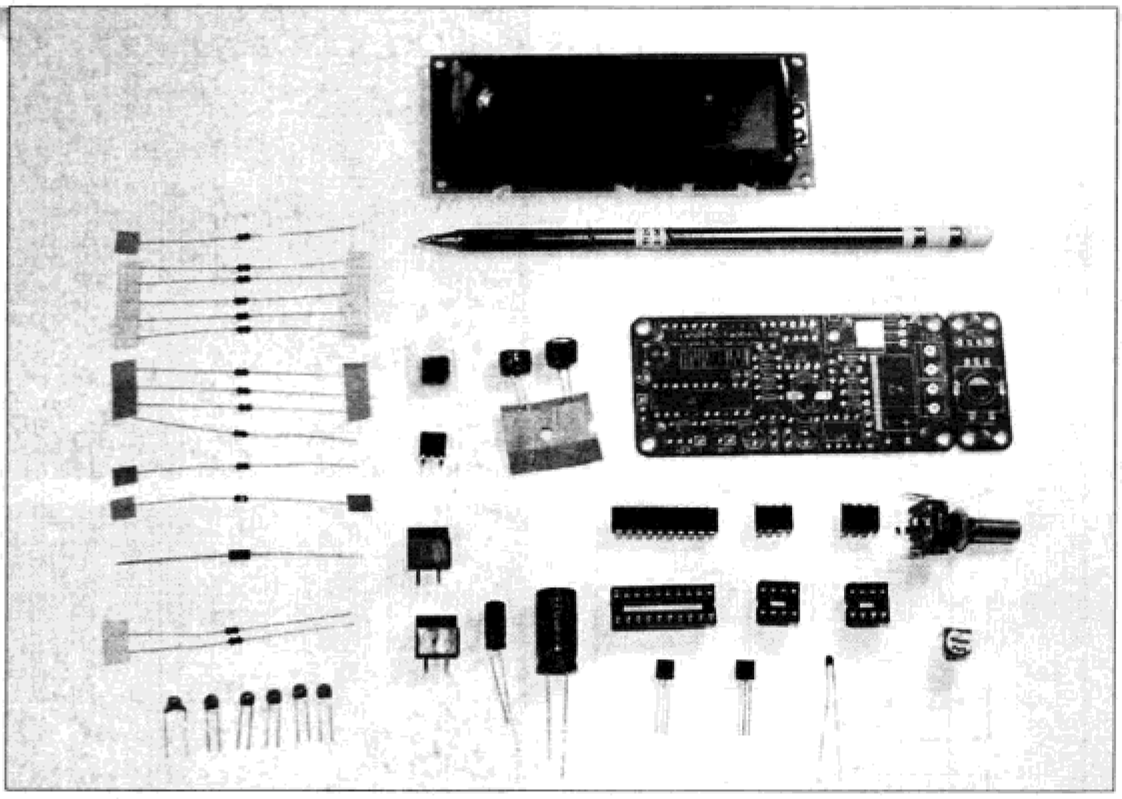


图3 套件实物图

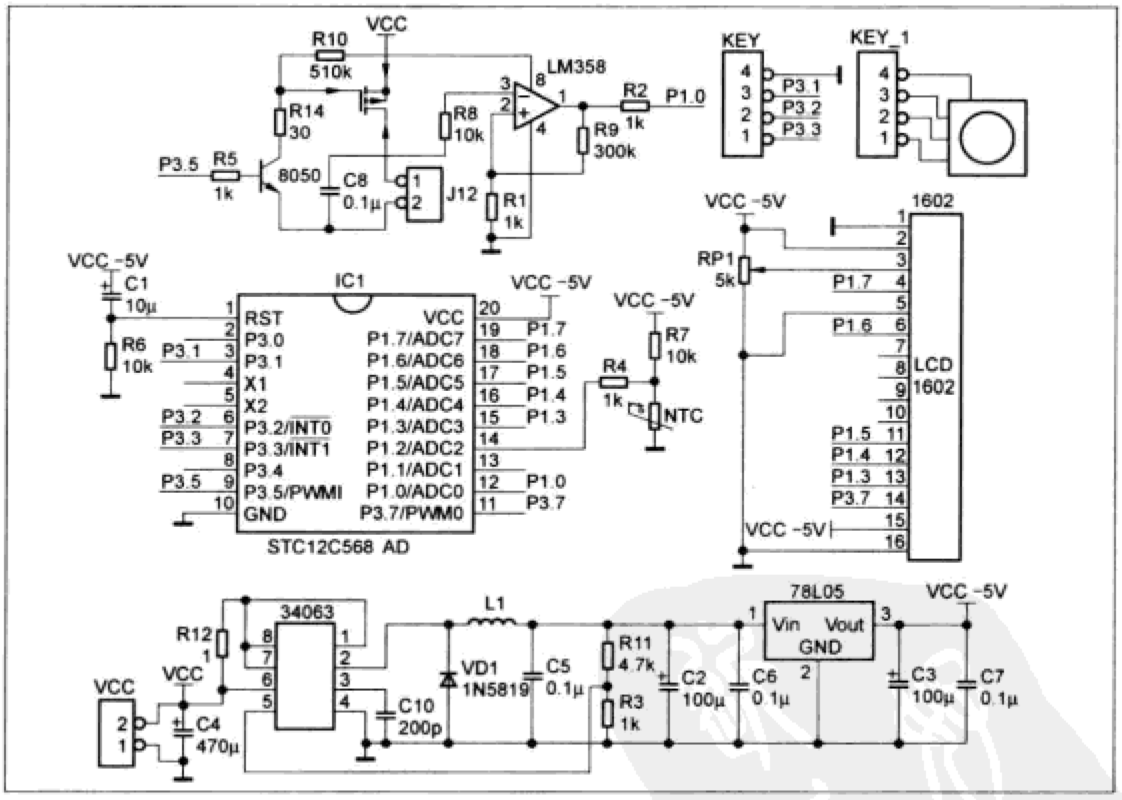


图4 电路原理图

2. 单片机程序分析

套件采用STC12C5628AD系列单片机作为主控芯片。

笔者根据对电路功能的理解及参考其他类似程序，程序主体部分流程示意图如图5所示，因套件没有公布源程序，以下示意图为笔者参考互联网其他类似的程序进行理解的。

3. 元件清单

套件元件清单如附表所示，根据图4设计的PCB图如图6所示。

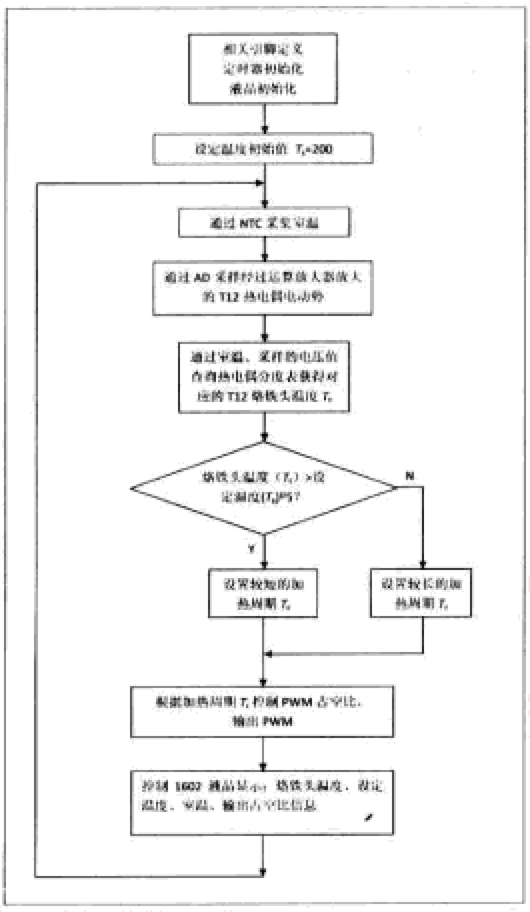


图5 单片机程序示意图

附表

元件标号	元件参数	数量
C1	10 μ F	1
C2、C3	100 μ F	2
C4	470 μ F	1
C5、C6、C7、C8、C9	0.1 μ F	5
C10	200pF	1
R1、R2、R3、R4、R5	1kΩ	5
R6、R7、R8	10 kΩ	3
R10	510 kΩ	1
R9	300 kΩ	1
R11	4.7 kΩ	1
R12	1 Ω	1
R14	30Ω	1
RP1	5 kΩ 可调电阻	1
VD1	IN5819	1
VT1	S8050	1
IC1	STC12C56XXAD	1
IC2	358	1
IC3	SSR2955	1
IC4	34063	1
IC5	78L05	1
L1	22 μ H	1
NTC	NTC热敏电阻	1
IC座	20pin	1
IC座	8pin	2
接线柱		2
旋转编码器		1

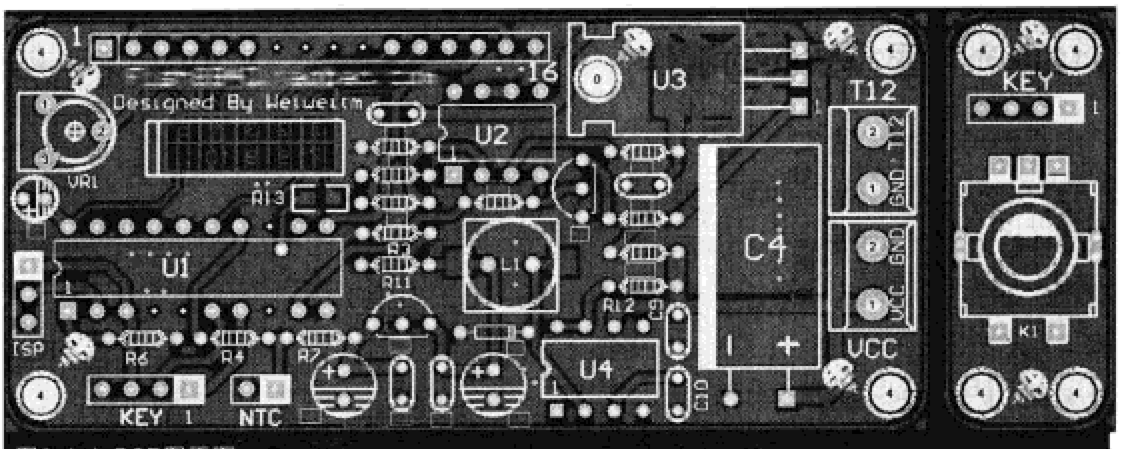


图6（a）PCB图正面

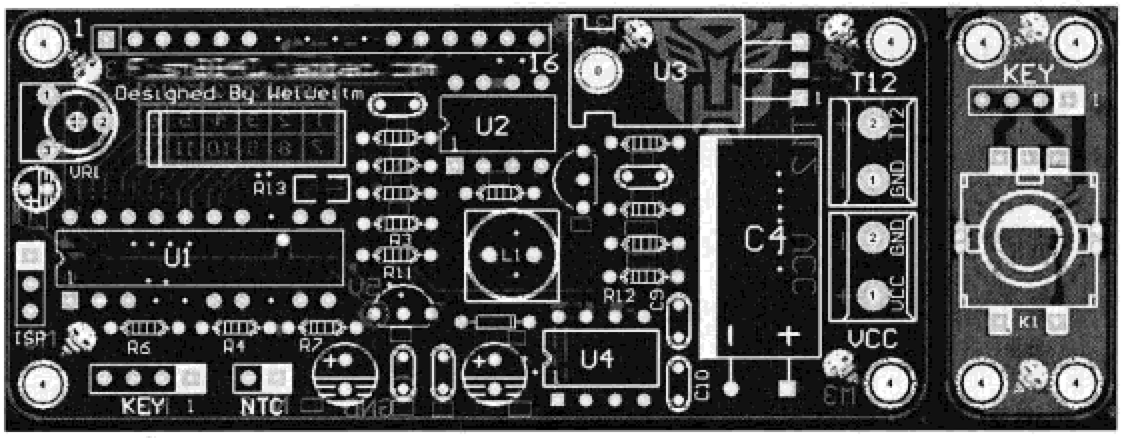


图6（b）PCB图反面

4. 焊接套件

套件焊接遵循从小到大、非温度敏感元件优先焊接的原则，当然实际操作过程中以方便焊接为第一准则。

第一步：焊接电阻、小电容。

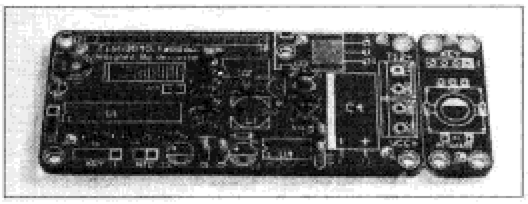


图7 焊接图Step1

第二步：焊接大电容、电感、IC管座、接线座。

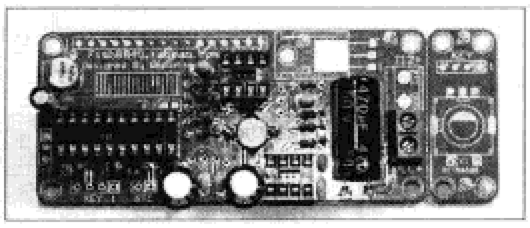


图8 焊接图Step2

第三步：焊接二极管、三极管及剩下的元器件。

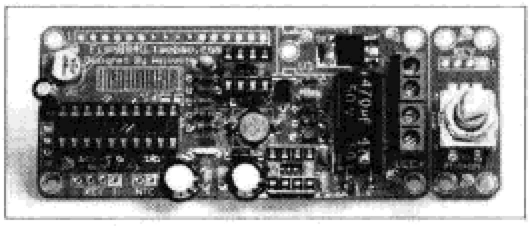


图9（a）焊接图Step3（正面）

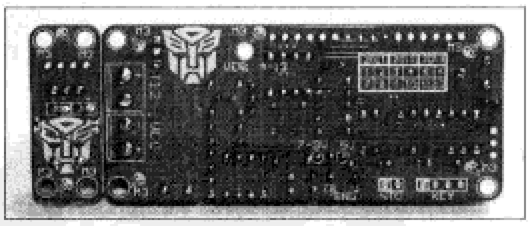


图9（b）焊接图Step3（背面）

第四步：焊接热敏电阻NTC。

热敏电阻NTC主要用于捕捉环境温度，对T12进行温度补偿，使得恒温更加精准。热敏电阻位置需要特别注意，以不要贴近发热元件为宜。为了避免引脚短路，笔者采用了热缩管。

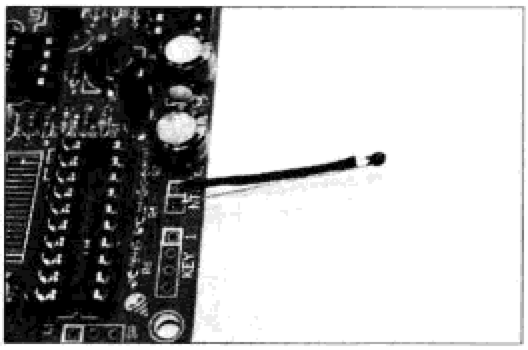


图10 焊接NTC时要采用热缩管，避免引脚短路

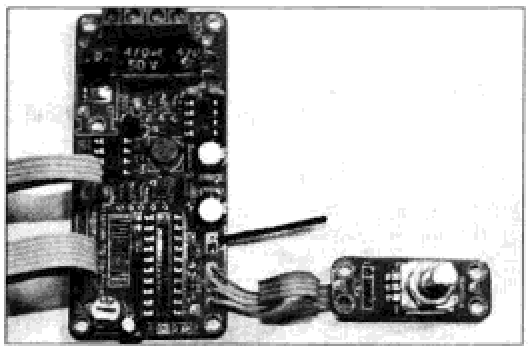


图14 连接旋转编码器与主板

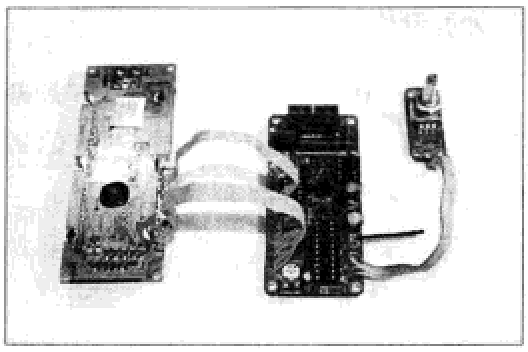


图15 连接完成

第五步：连接 1602 液晶、旋转编码器。

考虑到组装的布局，将旋转编码器小板从主板上分离出来。

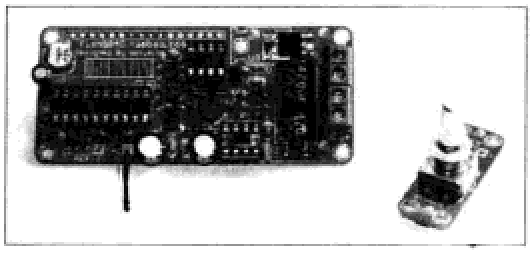


图11 分离旋转编码器小板

使用电脑上面淘汰下来的 IDE 排线将 1602 液晶屏与主板连接：1602 液晶屏的第 1 脚与主板液晶屏接口的第 1 脚对应，根据具体使用液晶屏的不同，需要连接 10 根（不带背光）或 12 根（带背光）导线。

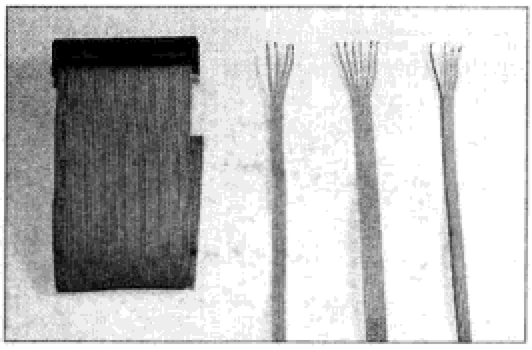


图12 使用电脑IDE数据线制作连接线

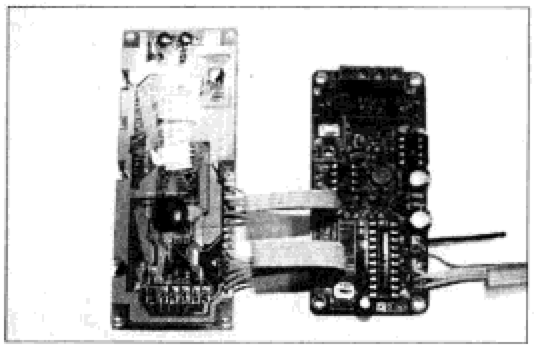


图13 连接液晶屏与主板

将旋转编码器子板与主板连接：旋转编码器子板的第1脚与主板旋转编码器接口的第1脚对应，共连接4根导线。

5. 光烙铁头供电电源的选择

T12烙铁头供电电源使用输出DC为12～20V、电流在2A以上的直流电源。考虑到需要输出2A以上的电流，电源的选择主要有两类：

（1）开关电源。可使用笔记本电脑的电源进行改造，使用开关电源的一个重要优点就是体积小。因手头没有合适的笔记本电脑的电源，笔者采用第二种方式。

（2）传统“变压器＋整流”方式。因属于电流较大的一种方式，这里需要特别注意整流管的选择及变压器功率是否满足要求。恰好笔者手上有一个带有中间抽头的双 17V 变压器，笔者将它作为 T12 数显白光控制器的电源。此外，采用变压器作为电源还有一个考虑——焊台本身需要一定的重量。这样焊台在使用的过程中不易随着手柄线的拉扯而移动。电路设计采用全波整流方式，整流管选择 IN5401（100V、3A）。原理图如图 16 所示。

6. T12烙铁手柄的制作

T12烙铁头是要区别正、负极的，在焊接的时候需要特别注意，如图17所示。考虑美观，我使用了一对航空插座，组装完成后的T12手柄如图18所示。哈，有点专业吧?

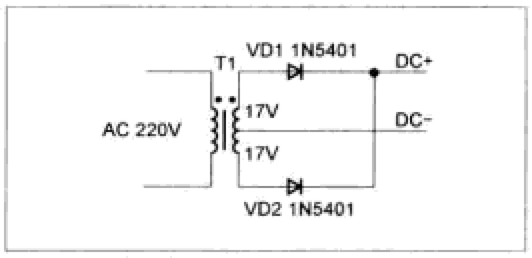


图16 电源电路原理图

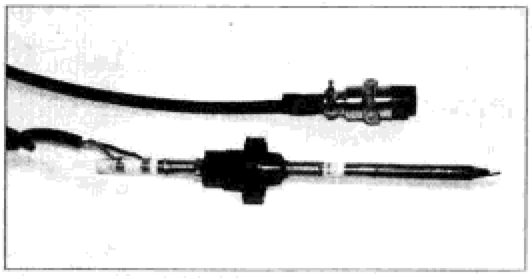


图17 T12烙铁头的焊接

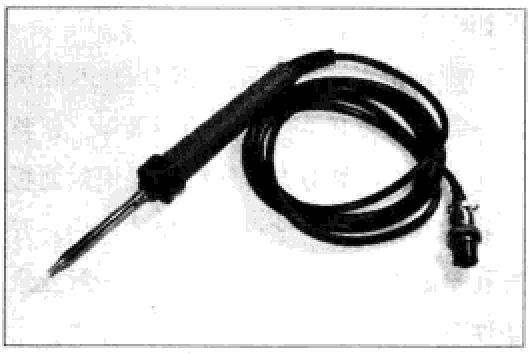


图18 T12手柄组装完成

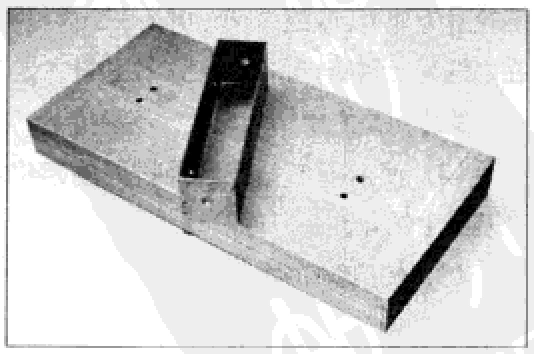


图19 铝合金方管边角料

7. 外壳制作

“金玉其中，败絮其外”是DIY普遍存在的问题，因为工具的限制，外壳的制作往往是DIYer最头痛的部分。

笔者采用家里装修剩下的铝合金方管边角料（截面规格为100mm × 25mm）制作焊台的外壳，如图19所示，外壳整体的尺寸为140mm × 100mm × 100mm。所谓“慢工出细活”，外壳的制作占用了整个套件制作大约80%的时间。

焊台外壳立体设计分解如图20所示。

制作外壳时，可以充分利用铝合金方管原有的折角，这样一来可以省去不少时间，二来因选用的铝合金型材柔韧性较差，折叠容易发生断裂。

制作外壳的工具主要有：手电钻、钢锯、锉刀、钳子（斜口钳、尖嘴钳等）。业余条件下，拥有钻床、铣床、数控雕刻机、等离子切割机的朋友应该属于少数派。手电钻和钢锯一般爱好者都具备，物尽其用就好。

面板的设计充分依赖于已有铝合金方管的尺寸，这样设计的好处在于，只要使用锯子、锉刀进行简单的加工，就可以得到相应大小的面板了。

焊台的前面板，因涉及1602液晶屏的开口、电源开关、旋转编码器等，是整个外壳制作中最复杂的工序。这里对面板上液晶屏开孔的方法进行简单的介绍。开方孔是最为痛苦和艰难的过程，一般业余条件下，采用“钻、挖、修”的方法。

（1）在型材上定位1602液晶屏的位置，并用铅笔画出其轮廓。以1602液晶屏轮廓为外框，收缩3mm，再画一个内框，在内框线上用钢钉和锤子打上定位孔。定位孔的作用是方便钻头定位，不易打滑。

（2）使用手电钻在已经打好的定位孔基础上钻孔。

（3）使用斜口钳、剪刀将余料挖出。

（4）使用锉刀、砂纸对开孔的边缘进行修整。

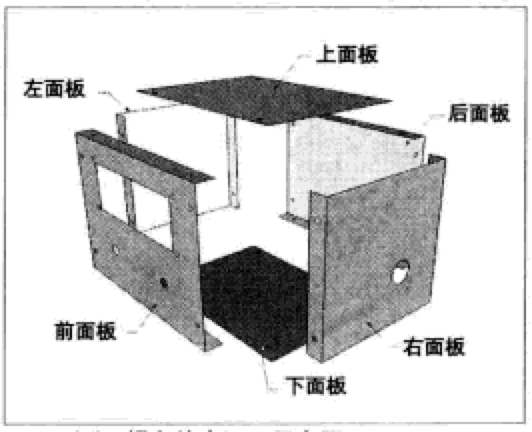


图20（a） 焊台外壳正面示意图

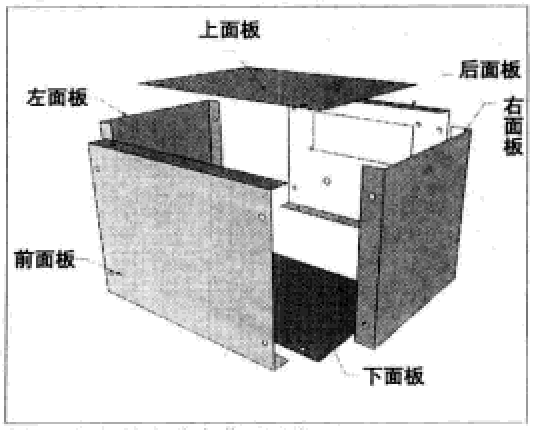


图20（b） 焊台外壳背面示意图

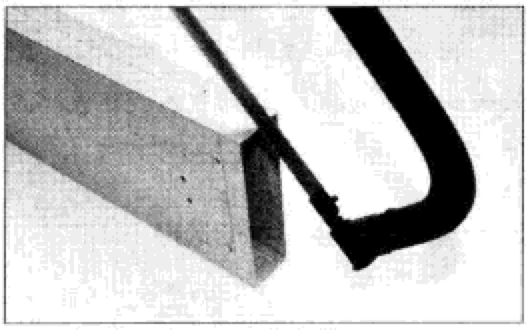


图21 使用钢锯锯开铝合金方管

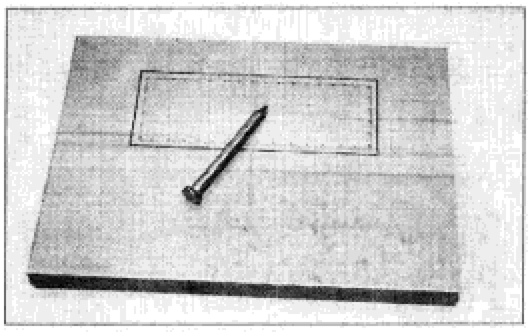


图25 使用钢钉制作定位孔

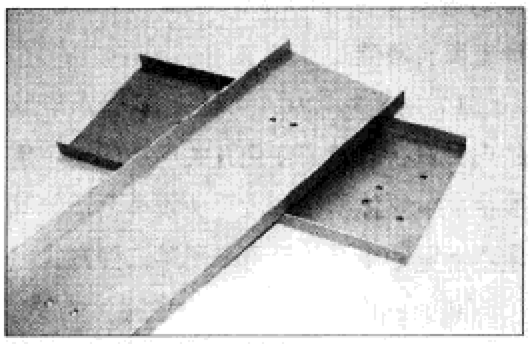


图22 锯开后的铝合金方管

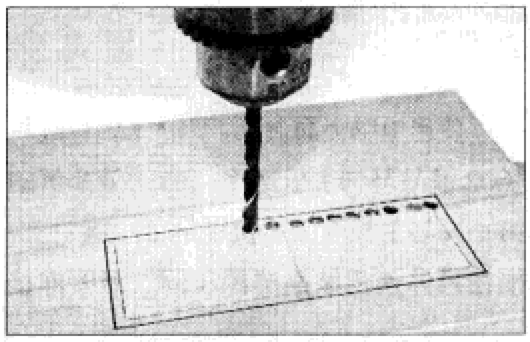


图26 使用手电钻在定位孔上钻孔

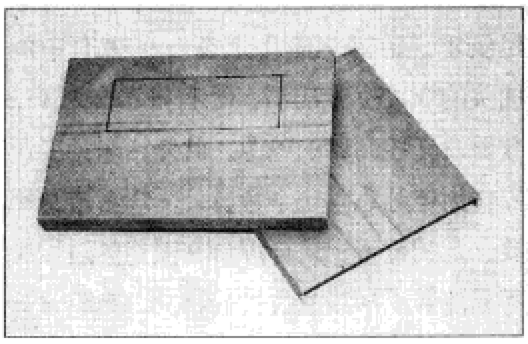


图23 根据焊台面板的尺寸大小进行切割

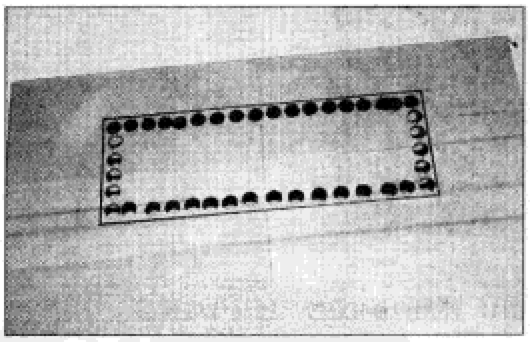


图27 钻孔完成

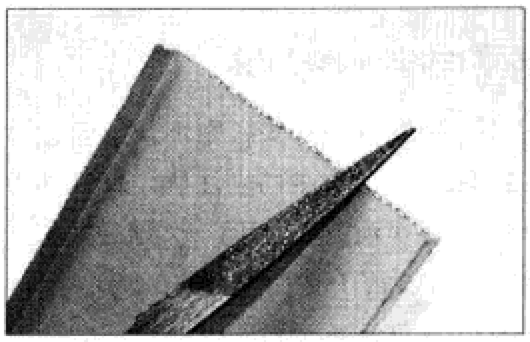


图24 使用锉刀对面板边缘进行打磨

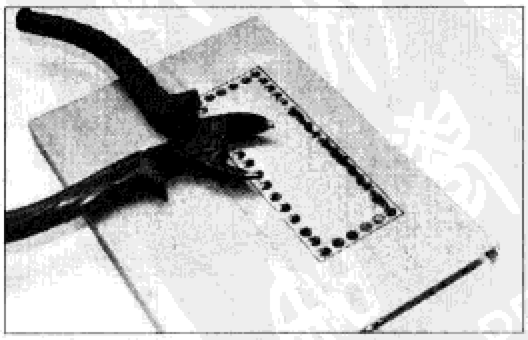


图28 使用斜口钳将余料挖出

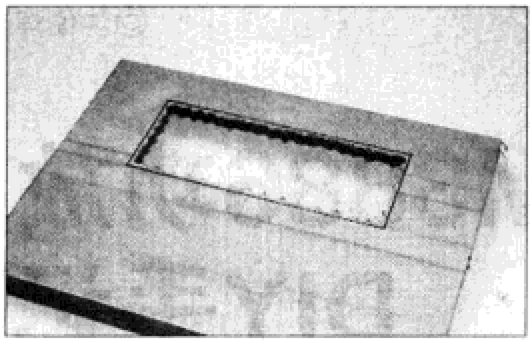


图29 余料挖出

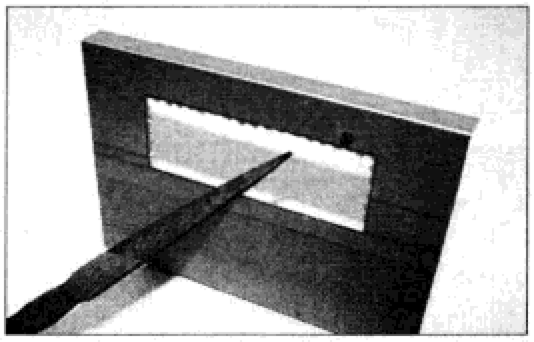


图30 使用锉刀打磨开口

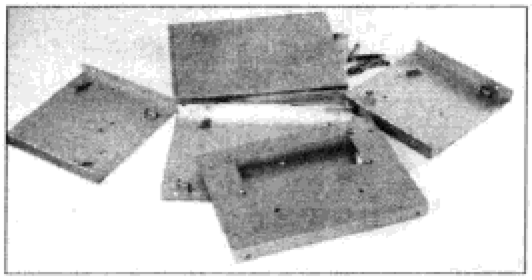


图31 外壳六面分解图

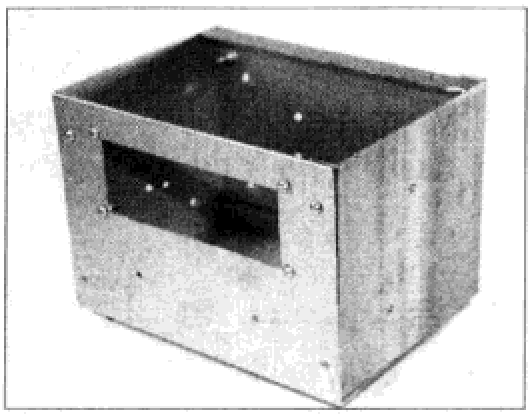


图32 外壳初步组装

8. 总装——完美收工

将集成电路插到座上，将电源、主板、旋转编码器板、航空插座固定在外壳内，要特别注意导线裸露部分的绝缘问题，防止短路。由于将航空插座安装在焊台的右侧，烙铁手柄刚好可以靠在航空插座上。至此，完美收工，检查一遍电路，准备上电测试了。

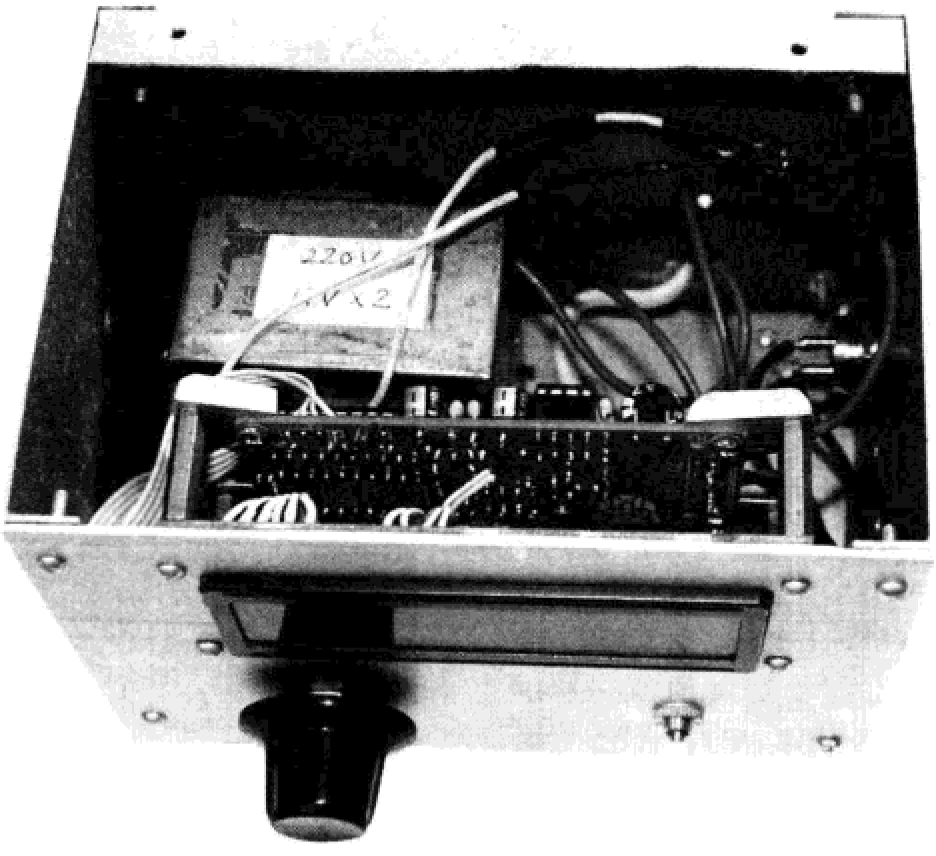


图33 总装图

使用体验

元件焊接正确，电路组装完成后不需要进行任何额外的调试，通过调整可调电阻（RP1）来调整1602液晶屏的对比度，使得液晶显示最清晰即可。

怀着忐忑的心情，进行通电测试。只短短十几秒，白光T12就达到200℃，已经可以融化焊锡了，这可是未曾体验的极速感觉啊。轻旋编码器，除了T12的温度上升外，还有心跳，一种DIYer在成功后的愉悦和兴奋。

如图34所示，液晶屏左上角的显示数字为设定的温度，可以通过旋转编码器调节；左下角的为实际烙铁温度的显示；右上角的显示为室温，右下角的显示为输出PWM的占空比。

按下编码器，T12温度的设定值可以自动递增，到了所需的温度再按一下，则温度递增停止。长按编码器，控制器可以记忆此时设定的温度（存放在STC单片机的EEPROM中），掉电有效哦！

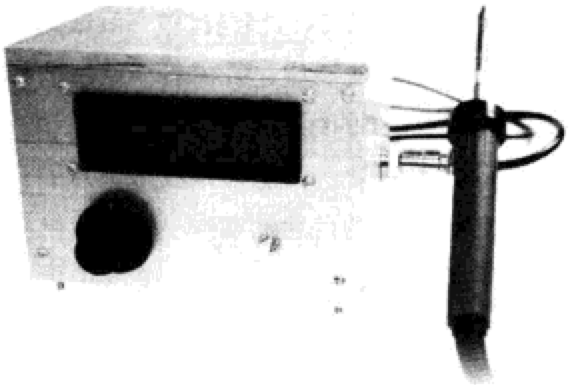
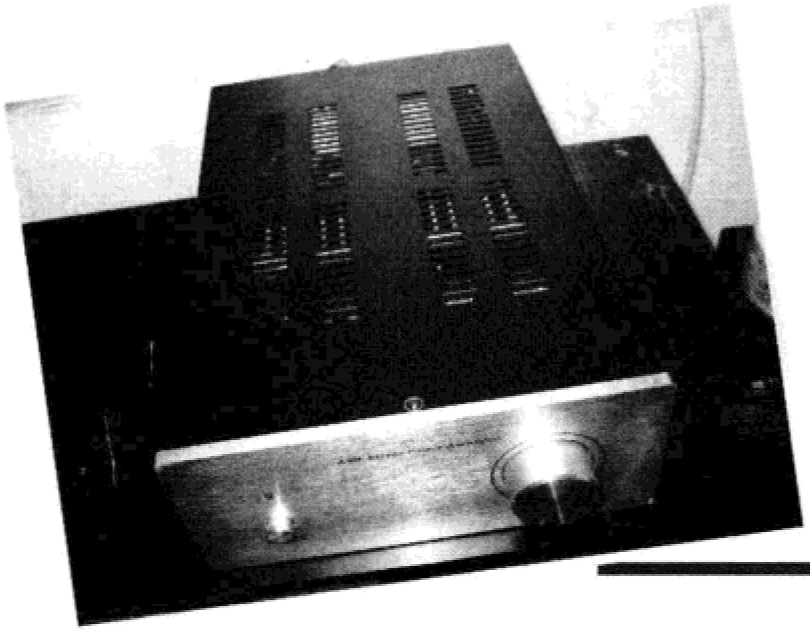


图34 通电测试

写在最后：前后大概花了一周左右的时间，从电路焊接到外壳制作，这应该是我DIY的第一个有模有样的作品。我急于将这些经验与大家分享，于是就有了本文。我父亲也是一个DIYer（20世纪80年代初自己DIY了一台9英寸黑白电视机），在进行这个焊台制作的时候，我还得到了他的大力相助。DIY的乐趣在于亲手打造，正所谓“自己劳动的果实最甜蜜”。父子两代人一同DIY，在甜美之上更是添加了一种独特的味道。



◎江俊辉

我的LM3886功放DIY手记

最早开始玩IC功放，经手制作过的有TDA2030、LM1875和STK4191等芯片，最后接触到LM3886，相比而言，用LM3886做出的功放各方面的性能指标和表现都比较让我满意。它的声音表现自然不用多说，凡是听过的爱好者都知道，中频丰满，低频量够，高频声音较甜，解析力还算可以。如果用它推6.5英寸的书架箱是不错的选择。

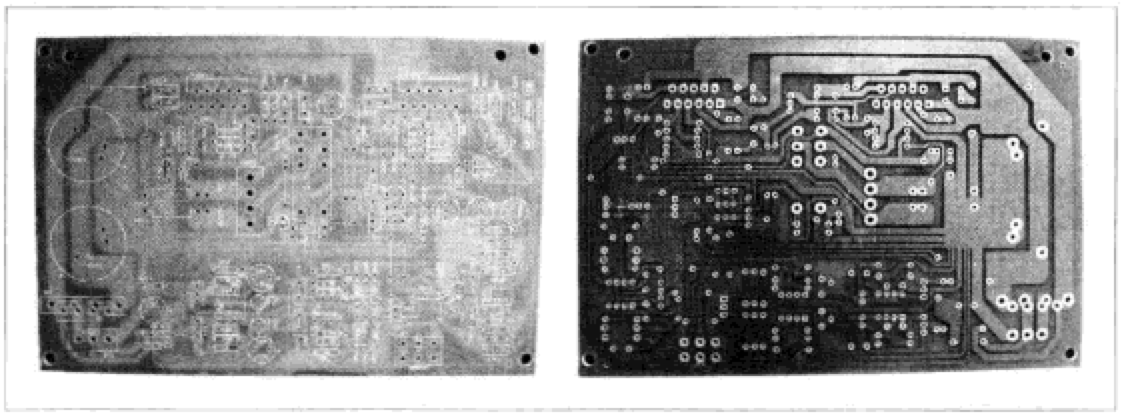


图1 网上购买的LM3886功放PCB

就拿我曾经玩过的汕头原音的成品板、AUDIO线路的LM3886和老罗的迷你LM3886，这三款作横向比较，我最满意的还是老罗的制作，因为其线路虽然和标准LM3886的线路相比稍微有些改动，但是恰到好处。其声音是我最满意的，更值得一提的是它的底噪——深夜贴着扬声器倾听，几乎听不到噪声！虽然AUDIO的制作也很漂亮，但是地线没有处理好，只要环牛或是E牛质量稍差，漏磁严重的话，底噪就会很明显。

对于大多数的DIY爱好者来说，如果当初只玩IC功放，确实有着很大的不足，因为IC功放局限性很大，自己调整参数的机会非常少。真正的烧友，重点会放在分立功放，尤其是甲类功放上。所以我也在慢慢进步，开始玩起了分立功放，从最初的LJM 的MX50，接着是佛山伟良的M6和M7，其他则玩得少，基本上感觉声音都还是不错的。前段时间听歌时，突然怀念起LM3886的“人声”表现——松软并且充满磁性。我的想法很简单，就是希望

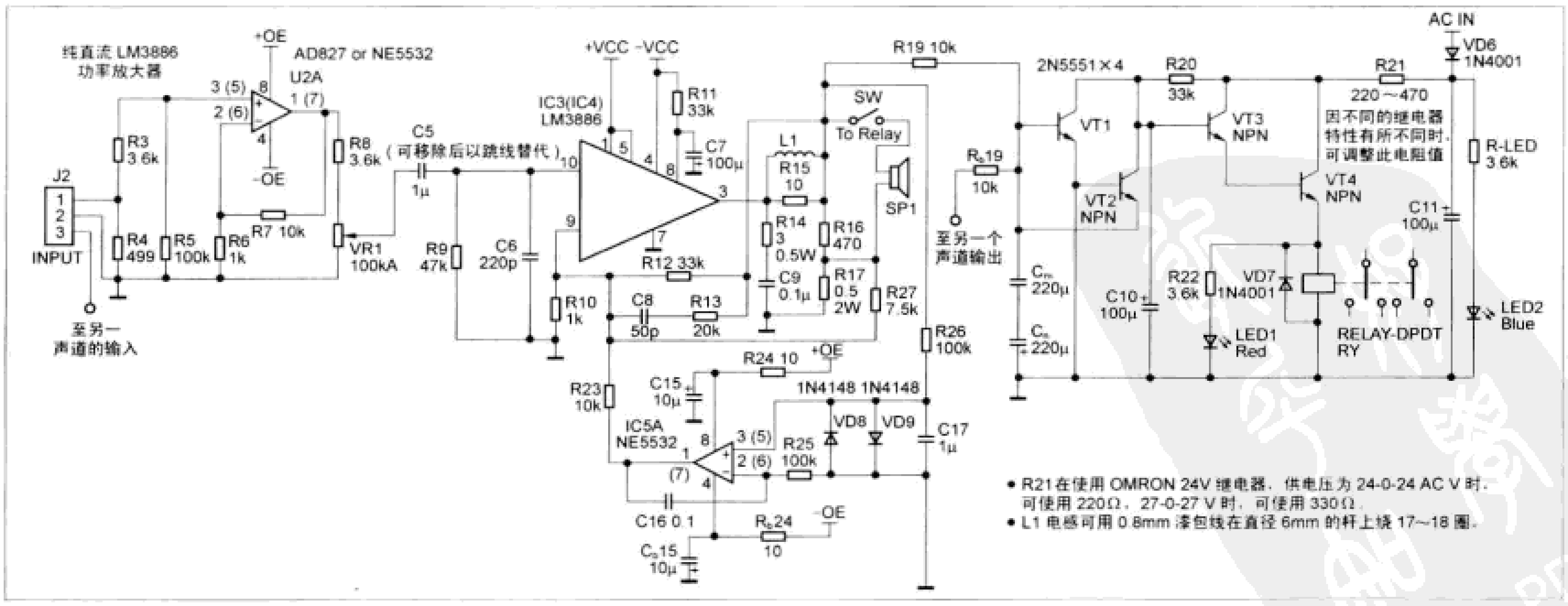


图2 电路原理图

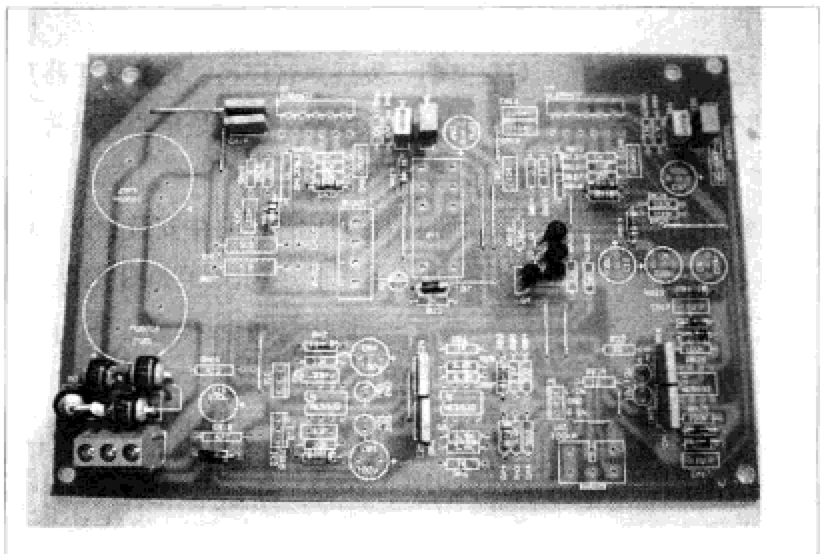


图3 开始焊接

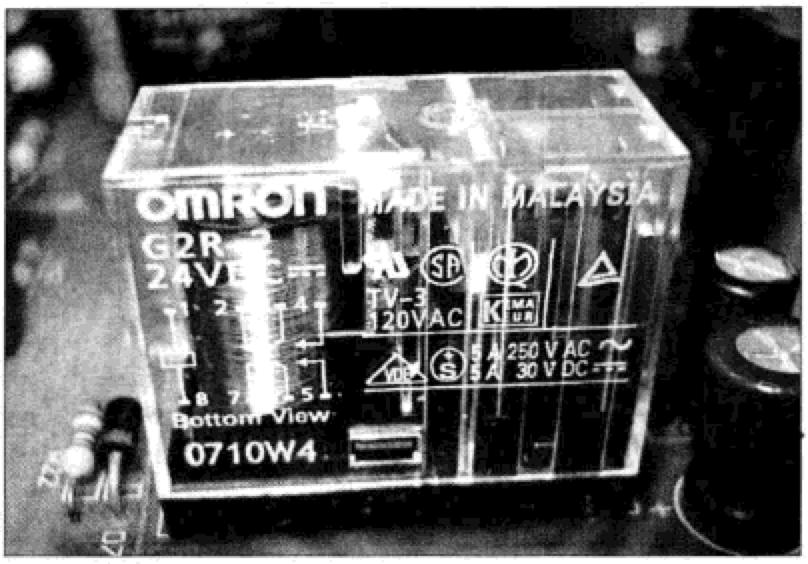


图4 欧姆龙继电器

LM3886功放的前级电路、扬声器保护电路、后级电路都在一块PCB上，而且地线布线很不错。于是，就在淘宝网上、论坛上开始找，看到有个发烧友的PCB，只是数值上有几个错误，就以较低的价格买下来玩玩。板子印制质量一般，不过总体来看还行，如图1所示，但是线路板上有几个印制数值出错，只要稍微调整下就可以搞定了，其电路原理图如图2所示。

我手头零件不多，很多元件都是拆东墙补西墙。我想，这是很多音响DIY朋友最头疼的问题：备料。DIY爱好者真的需要买0~100kΩ的电阻或者其他常用的元器件备着，随时需要就拿过来用，非常方便。于是我又开始在淘宝网上查找所需的电子元器件，按照电路图购买了全部器件，然后开始了焊接工作，如图3所示。

一般焊接PCB有个原则，先小后大！焊接电阻的时候最好留稍许空间，方便以后维护、更换，切忌全部贴面焊死，这样会给以后的维护带来隐患。如果元件烧毁，很有可能把PCB直接烧坏。

要出好声，选料非常关键！整流管选择高速恢复管MOTO 的MR756，这种整流管有个非常好的优势，就是快速恢复，绝不像国产管那样——有点拖泥带水的感觉！很多DIY的爱好者焊接功放，一气呵成，但是有时候可以调整一下节奏，慢慢焊接，在此过程中仔细检查每个元器件是否正确焊接，体会其中的乐趣。

功放输出的继电器我特地选择了正品的欧姆龙继电器，如图4所示，纯铜材质，保证更高电流的导通率。

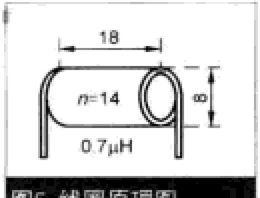


图5 线圈原理图

万事俱备，只欠东风呀！焊接元件基本差不多了，倒是欠缺电感和LM3886 IC了，于是开始寻找合适的电感。突然看到手头还有部分电视天线，还是纯铜制品，线径大概在0.6~0.7mm，就手工制作了一对电感。线圈L1、L2的绕法如图5所示。

我在淘宝花费12元买下了LM3886 TF1，这里得特别说一下，LM3886目前在市场上的价格被炒得很高，一个全新的芯片要25~30元，不过我买的是拆机货，性能完全保证。接下来我陆续订购了散热器、变压器、机箱。

图6 机箱外形

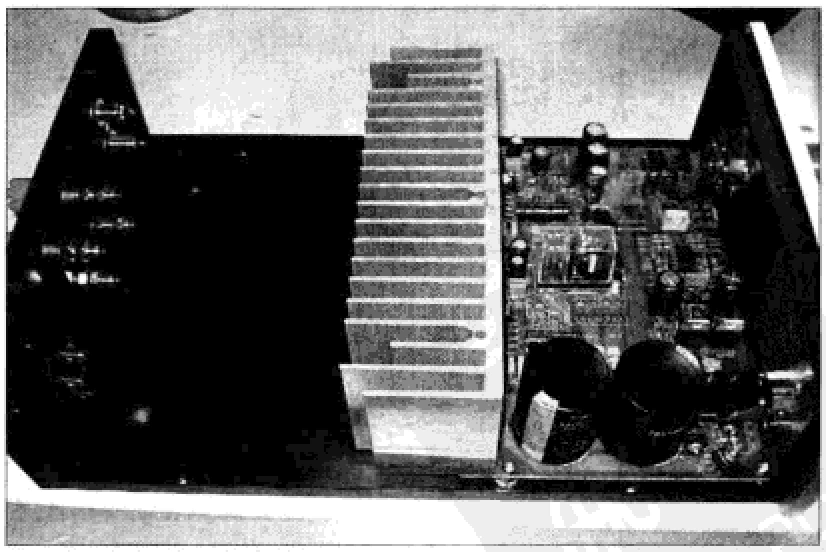


图7 装好的散热器和电路板

图8 内部电源线使用双绞线

这个板子上设计的LM3886的输入电容让我改了，原本是1μF或是短接的，我改成了4.7μF的，反馈电容原来用的是100μF，我暂时使用47μF，因为这两个电容对声音的影响太大了，不同牌子的电容所表现出声音完全不一样。

订购的机箱如图6所示，内部尺寸是172mm×80mm×265mm，还好是一体化的板子，经过认真计算，把散热器、变压器加上，可以做个mini型的，基本上实现我之前的想法了！

几天后，订购的散热器也到了。这次我也深刻体会到了装机过程中所遇到的另一个问题，就是制作所需的东西不齐备，而且要分开购买，这样就会影响装机的进度了。

开始工作吧，赶快把散热器装上，然后进行钻孔，上铜柱，基本的外观效果就出来了，如图7所示。

头疼的事情来了，自己手头上的环牛放不进去，它是11cm的直径，只能去找E牛了，直径要在9cm才行。于是，我开始找合适尺寸的E牛。终于，找到了尺寸合适的E牛——200W、24V。无奈于这个机箱尺寸的限制，不然找个300W、双28V的纯铜牛来供这个板子，声音还会提升一个层次。制作好的功放，电源非常重要。接下来进行布线，内部电源线尽量用双绞线，这样可以减少对信号源的干扰，如图8所示。

接着将电源开关线、扬声器线、电源线都准备好，整理一下。使用我的环牛进行接线测试，为了保险，220V输入串联60W的灯泡。如果开机，灯泡亮了一下就慢慢灭了或是一直微亮，表示线路正常。如果灯泡长亮，表示线路有问题，存在短路或是元件可能接错。环牛放不进去，只有外接试试声音，如图9所示。接好后开机，发现声音还行，贴着扬声器几乎听不到一点噪声，要不是电源灯亮着，我还以为没开呢。

经过位置对比，把E牛安装上去，布线稍微处理了一下。装机效果如图10所示。

最后一步就是进行校音。听了两天，总觉得声音怪怪的，不够细腻，中频很粗糙，低频过于饱满。于是看了LM3886TF的资料，参考了其他设计电路图，总觉得问题出在LM3866的输入电容和反馈电容上。经研究发现，原来板子上的设计输入电容是1μF或是短接，反馈电容是100μF。我用了4.7μF的作输入电容，反馈电容用了47μF的。这两个电容对声音影响较大。凭着DIY经验，把耦合电容换成飞利浦蓝壳电容。久违的LM3886的声音出来了——耐听、舒服。可惜的是板子不大，不然输入电容换成碧思的无极MKP电容10μF或是其他声音更好的MKP耦合电容，声音会更舒服，韵味更好。前级的运放原本用陶封RC5532，声音有点冲，不过现在换上OPA2604，还是舒服点。这个板子的优势就是可以根据自己的喜好，更换不同的运放。

大功告成，终于可以坐下来好好欣赏自己的作品了。

图9 接线测试

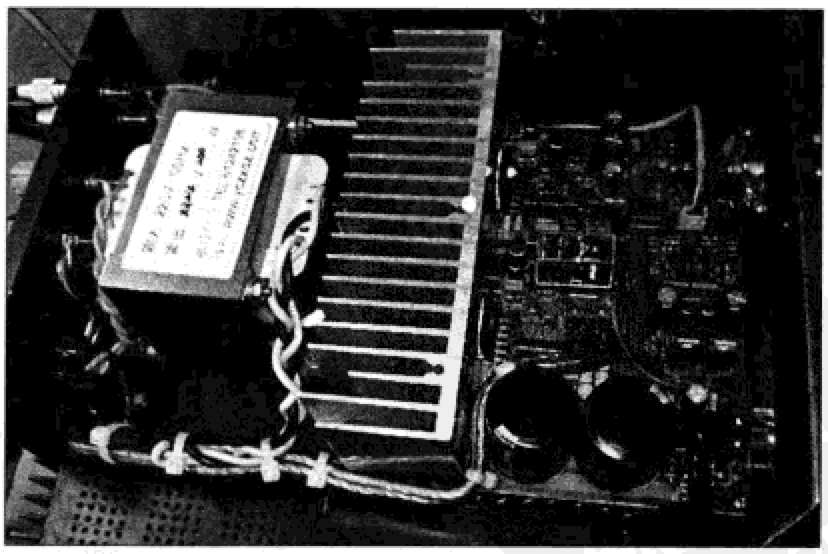


图10 功放内部效果图

高品质胆机电源变压器的设计与制作（上）

◎松贵年

胆机的声音表现是舒缓柔美、清澈醇厚，尤其是以300B、845、211等直热式三极管制作的单端甲类胆机为代表，其清澈明亮的高音，醇厚而富有质感的中低音，能营造出极具感染力的音乐氛围，给人以美妙的听觉享受，是许多发烧友欣赏音乐的利器。电源是胆机能量的源泉，电源变压器是胆机电源中极其重要的器件，它的选料、工艺、参数直接影响胆机的各项性能指标。品质优良的电源变压器是胆机出好声的基础。一款音色出众、性能优异的胆机，其电源的选料必定扎实精良，用料必定充足可靠。成熟经典的放大线路搭配高品质、高性能的电源，音乐表现才能向高保真靠拢，音质才能发挥到极致。

原本平价的元器件，只要跟高保真有一丝关联，身价就会成倍增长。300B原本是一只应用于电源电路的直热式三极管，后来被应用于音频领域，它以绝妙的音色表现征服了无数发烧友苛刻的耳朵，享有“梦幻之球”的美誉，其身价随之节节攀升，非一般工薪阶层所能承受。电源变压器的品质与高保真有千丝万缕的联系。用料考究、工艺精良的胆机变压器价格不菲，还有一些被称为音频专用铁芯的胆机变压器的价格更是高得离奇。

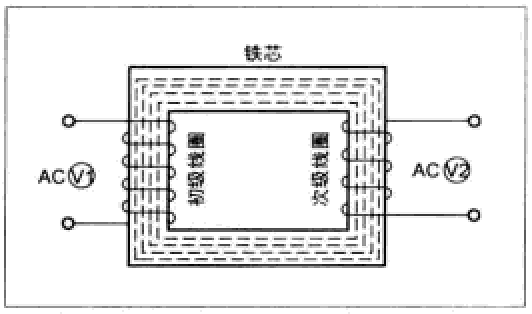


图1 变压器的简单原理图

但是对于电源变压器，发烧友有广阔的制作空间，正所谓“自己动手，丰衣足食”。选用价廉质优的材料，以严谨的理论，精良的制作工艺，通过自己努力，制作性能可靠、指标优良的高品质电源变压器，实现心中的发烧梦想。

变压器的工作原理和效率

变压器是由绕组和铁芯组成，闭合的铁芯上绕有两个线圈，线圈与铁芯之间是绝缘的，如图1所示，其工作原理是交变的电场与磁场之间的相互转换。在初级线圈接通交流电源，线圈中就会产生交变电流，铁芯中就会产生变化的磁通量。闭合的铁芯形成磁通回路，变化的磁通量同时穿过初级线圈和次级线圈。根据电磁感应定律可知，磁通量的变化可在初、次级线圈产生感应电动势，不同的线圈匝数可以得到不同数值的感应电动势。

因为变压器自身有一定的损耗，所以它的输出功率永远小于输入功率。即使是用料考究、精工制作的电源变压器也不例外。变压器的自身损耗主要有铁芯损耗和绕组损耗。由于电与磁之间有磁滞现象，即磁感应强度的变化永远落后于磁场强度的变化，在电与磁的转换过程中，电能以热量的形式被消耗，热量主要集中在铁芯，这就是磁滞损失。变压器工作时铁芯会产生涡流，同样以发热的形式消耗电能。目前市场供应的铁芯表面已做氧化物绝缘处理，涡流损耗相对较小，芯片厚度越薄，涡流损失越小。铁损中铁芯自身的磁滞损失大概占了60%，磁感应强度低的铁芯磁滞现象更严重，铁芯发热量大，损耗严重，因此采用磁感应强度高的铁芯是制作高品质电源变压器的最佳选择。

变压器的绕组由漆包线绕制而成，绕组对通过的电流会产生一定的阻碍作用，同时以发热的形式消耗电能。这种损耗跟绕组的材质、结构等有关，如果绕组匝数越多，线径越细，线材所含杂质越多，绕组的电阻值就会越大，这样发热损耗就会相应增加。绕组的这种损耗称为“铜损”。减少铜损的办法是，在铁芯窗口允许的情况下增大线径，选用优质硅钢片，减少线圈匝数。

为衡量变压器自身损耗的大小，可以将输出功率与输入功率的比值作为参考值，引入“效率”的概念。

即：$\eta=P1/P2$

其中，$P1$是输出功率，$P2$是输入功率，η是效率。η与变压器的功率大小有关，功率越大，η值越高，如表1所示。

从表1可以看出，在铁芯磁感应强度一定的情况下，对于大功率变压器，其铁芯尺寸规格较大，窗口面积较大，可以选取较大线径的漆包线，铁芯截面积大，线圈匝数减少，所以变压器铁芯功率大，绕

表1 变压器效率η值表

P (VA)	<10	10~30	30~50	50~100	>100
η (%)	60~70	70~80	80~85	85~90	90以上

组铜损下降，效率将会提高。

变压器铁芯和漆包线的选取

1. 铁芯

铁芯是变压器的重要组成部分，常用的有EI型和C型铁芯。C型铁芯是将高磁通的金属硅钢片，由机床一次性紧密缠绕，加工成形，然后从中间切割成两半，每半形状像大写字母C，故称C型铁芯。C型铁芯其磁通方向与晶格排列方向一致，磁感应强度相对较高，变压器效率也较高。与EI铁芯相比较，相同截面积的情况下，C型变压器效率会高出很多。C型变压器的音色清澈明亮，动态十足，底声较薄，音乐味较淡。虽然C型变压器效率高，铁芯装配简单，容易制作，但其音乐表现不适宜人耳听觉习惯，不能讨好发烧友苛刻的耳朵，因此这种铁芯做电源变压器很少被采用，国内外著名品牌胆机厂商都很少采用C型变压器。

EI铁芯一直受到发烧友们的青睐，其音乐表现高频嘹亮，中低频浑厚，胆味浓郁。硅钢片规格及常用规格表分别如图2和表2所示。高磁感应EI铁芯难以寻觅，发烧友推崇日本Z11型铁芯，这种铁芯数量少之又少，而且价格很高，笔者从不迷信这种天价铁芯变压器，那是人为炒作的结果。在20世纪60年代和70年代，我国经济基础薄弱，资源短缺，国产变压器铁芯的工艺和性能相对较差。随着我国综合国力的快速提高，金属冶炼技术得到飞速发展，国产变压器铁芯中也相继出现了质量上乘、性能优异的产品。在二手电器市场里，有不同生产年代的各式变压器，这些变压器铁芯的优劣难以分辨。笔者根据发烧前辈们的经验得出：弯折时易脆易断，断面呈现晶体颗粒状的产品可以判定其为高磁通铁芯，质量低劣的铁芯如同铁皮一样，反复折弯也不易断。铁芯厚度有0.35mm和0.5mm两种规格，输出变压器铁芯一般采用0.35mm，电源变压器两者都可以采用，厚度薄的产品涡流小，效率较高。

衡量铁芯磁感应强度的单位是特斯拉（T），普通铁片的B值在0.5~0.7T，普通硅钢片在0.7~0.8T，优质硅钢片在1~1.5T，冷轧硅钢片在1.2~1.6T。笔者买到一副铁芯，做理论设计时，对硅钢片磁感应强度B的取值较为保守，通常取值为0.9T，B值估计过高，绕组设计匝数减少，导致空载电流增大，漏磁增加，性能下降。

2. 漆包线

漆包线要选用正规厂家的优质漆包线，质量上乘的漆包线工艺精良，粗细均匀，绕制时手感光滑，无粗糙感，绝缘漆分布均匀，附着力强，能耐受高温。漆包线材质纯度不同，其性能也不一样，纯度低，所含杂质成分多，单位长度的阻值大，绕组损耗增大。目前市场销售的漆包线质量悬殊较大，从外观和手感方面只能判断其制作工艺的好坏，分辨不出其材质的优劣。高保真电路推崇高纯度的无氧铜线，优质的无氧铜线纯度可达99.99%，即所谓的4N铜线，这种高纯度4N漆包线价格高昂，且难寻其踪迹。笔者在选购漆包线时，首先观察其工艺是否优良，其次注重观察柔软度。纯度高的产品弯折时较

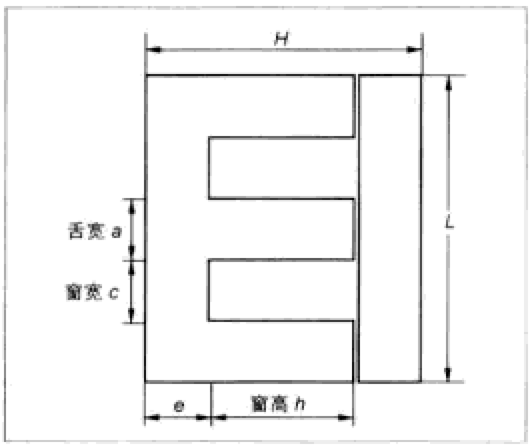


图2 变压器铁芯硅钢片规格

表2 常用硅钢片规格表

铁芯型号	*L*(mm)	*H*(mm)	*h*(mm)	*c*(mm)	*a*(mm)	*e*(mm)	标准化叠厚*b*(mm)				窗口面积(cm²)
GEI-14	50	43	25	9	14	9	18	21	24	28	2.25
GEI-16	56	48	28	10	16	10	20	24	28	32	2.8
GEI-19	67	57.5	33.5	12	19	12	24	28	32	38	4.02
GEI-22	78	67	39	14	22	14	28	33	38	44	5.46
GEI-26	94	81	47	17	26	17	33	39	45	52	7.99
GEI-30	106	91	53	19	30	19	38	45	56	60	10.07
GEI-35	123	105.5	61.5	22	35	22	44	52	60	70	13.52

表3 胆机常用漆包线规格表

铜芯直径 mm	最大外径 mm	截面积 cm²	20°C电阻 Ω/km	重量 kg/km	每厘米匝数	每平方厘米匝数	电流密度2.5A/mm²时的载流量	电流密度4.5A/mm²时的载流量
0.47	0.53	0.1735	99.1	1.58	18.9	356	0.434	0.781
0.51	0.58	0.2043	84.2	1.87	17.2	297.3	0.511	0.919
0.64	0.72	0.3217	53.5	2.94	13.9	192.9	0.804	1.448
0.67	0.75	0.3526	48.8	3.21	13.3	177.8	0.881	1.587
0.69	0.77	0.3739	46	3.41	13	168.7	0.935	1.683
0.72	0.8	0.4972	42.2	3.7	12.5	156.3	1.018	1.832
0.80	0.89	0.5027	34.2	4.58	11.2	126.2	1.257	2.262
0.90	0.99	0.6362	27	5.78	10.1	102	1.59	2.863
1.04	1.15	0.8495	20.2	7.72	8.7	75.6	2.124	3.823
1.2	1.31	1.131	15.2	10.4	7.6	58.3	2.827	5.089
1.4	1.51	1.539	11.2	14	6.6	43.9	3.848	6.927
1.62	1.73	2.061	8.3	18.7	5.8	33.4	5.153	9.275

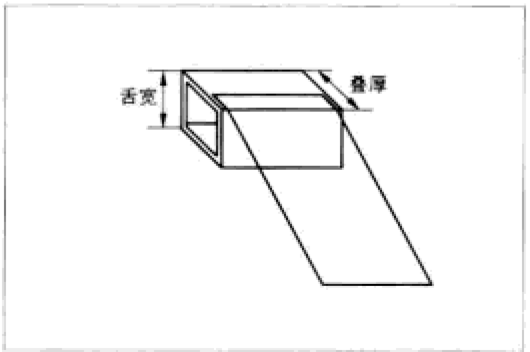


图3 变压器PB骨架加绕绝缘纸

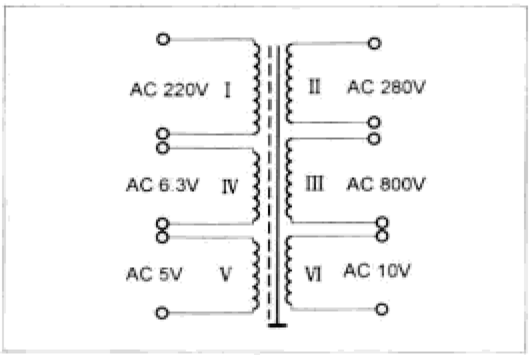


图4 813胆机电源变压器绕组

柔软，杂质含量高的产品则手感会发硬。

比较不同品牌的漆包线时，取每一品牌直径0.51mm的各一段，反复弯折比较，柔软者纯度较高。漆包线以标准化数据生产，胆机电源变压器常用漆包线规格如表3所示。

3. 骨架、绝缘材料

绕组骨架可以由PB纸板制成，也可以用厚度1.5mm的胶木板制成。胶木板绝缘性能优良、强度高，是制作绕组骨架的理想用料。但用PB纸板制作骨架方便简单，在制作过程中需要折合，折合处有效绝缘厚度变薄，这对于耐受220V的高压有一定的风险，对此，PB纸板骨架绕两层0.08mm的聚酯薄膜，两层0.08mm绝缘纸，经过绝缘漆浸透，其绝缘效果可与胶木板相当，如图3所示。这样，既加强了绝缘性能，又使骨架棱角圆化，方便绕制时排线。

变压器绕组的绝缘有组间绝缘、层间绝缘、匝间绝缘。市面上绝缘材料专卖店有各种规格的绝缘材料，主要有聚酯薄膜和带有绝缘膜的青壳绝缘纸，厚度在0.04~0.08mm。匝间电压较小，附着在漆包线表面的绝缘漆可以满足绝缘要求。层间电压较高，电流较大，可用厚度为0.04~0.08mm的绝缘纸，一般使用0.08mm的绝缘纸作为层间绝缘，每绕一层线圈，做一层绝缘层。组间电压由相邻两组线包的电压决定。比如制作813单端甲类胆机电源变压器，其次级800V高压线包和240V中压线包相邻，初级220V和次级800V都与接地屏蔽层相邻，因此，组间绝缘至关重要，千万不能马虎。在初级220V与接地屏蔽层之间做0.08mm的聚酯薄膜2层，再做0.08mm的绝缘纸4层，高压800V线包与接地层之间做0.08mm的聚酯薄膜4层，0.08mm的青壳薄膜绝缘纸5层。变压器一定做好可靠的绝缘措施，良好的绝缘是保障变压器安全工作的前提。

变压器的理论设计

理论是行动的指南，科学严谨的理论设计，能逐步引领制作电源变压器向高保真靠拢。笔者将理论和实际紧密结合，摒弃冗长的理论计算，以几个简单的计算公式，轻松设计变压器参数。以一台左、右声道分体，电路方式采用6N11与6N8P并联的FU813的单端甲类放大电路为例，设计放大电路所需的电源变压器，该变压器各绕组如图4所示，整机电路的静态工作点如表4所示。

1. 求变压器的功率

设计一部胆机电源变压器，首先要计算出胆机所要消耗电能的总功率。

公式1：$P_{输出}=U_1I_1+U_2I_2+U_3I_3+\cdots\cdots+U_nI_n$

$P_{总}=P_{输出}/\eta$

其中η为变压器效率，它与变压器功率大小有关。

高压绕组主要提供813屏极功率、帘栅极功率、输出变压器初级损耗功率、大功率自偏压电阻损耗功率。813最大屏流约等于静态工作电流乘以1.23，高压绕组应提供的最大功率为：

$P_{高压}=1.23\times(1050\times0.095+R1\times0.095^2+R2\times0.095^2)=140$（VA）

其中$R1$是输出变压器直流电阻，$R2$是自偏压电阻。考虑到胆机工作在大动态范围时，避免出现低频脚软的状况，高压绕组应保留足够的功率富余量。为此，笔者将高压绕组功率从140VA扩展到200VA，高压绕组电流值为$I_{高压}$=200VA/800V=0.25(A)。

中压绕组主要提供6N11屏极功率及屏极电阻功耗、6N8P屏极功率及屏极电阻功耗。

$P_{中压}=1.23\times(130\times0.016\times2+2\times R1\times0.016^2+300\times0.012\times2+R2\times0.012^2)=36.4$（VA）

其中$R1$是6N11的屏极电阻30kΩ，$R2$是6N8P的屏极电阻20kΩ，考虑到音频信号有一定的动态范围、中压绕组应保留一定的功率富余量，取值为56（VA），中压电流$I_{中压}$=56/280=0.2A。

灯丝绕组提供的功率如下：

$P_{6.3V灯丝}=6.3\times0.34\approx2.1$，取值为10（VA）

$P_{5V灯丝}=5\times3=15$，取值为 25（VA）

$P_{10V灯丝}=10\times5=50$，取值为 70（VA）

充足的灯丝电流，是胆机音质迷人、胆味浓郁的关键因素，灯丝绕组应保留充足的功率富余量。

表4 整机电路的静态工作点

型号	灯丝电压	灯丝电流	屏极电压	屏极电流
6N11	6.3V	0.34A	130V	16mA
6N8P	6.3V	0.6A	300V	12mA
5Z3P	5V	3A	1550V	250mA
813	10V	5A	1050V	95mA

$P_{输出}$=200+56+10+25+70=361（VA）

$P_{总}$=361/0.8≈451(VA)

2. 根据功率求铁芯截面积

公式2：$S=K_P P^{1/2}$

其中S是变压器铁芯截面积（cm^2），K_P是与铁芯最大磁通密度有关。由表5可知，取B_{MAX}值为0.9T，K_P是1.25，P是变压器总功率。

根据公式可计算出铁芯截面积：$S=1.25\times 451^{1/2}\approx 26.5(cm^2)$

我们估算出铁芯截面积，利用该公式可以粗略计算铁芯功率。

3. 求每伏的匝数

公式3：$N_0=K_B/S$

N_0是变压器初、次级线圈的每伏匝数，系数K_B可由表6查得，S是变压器铁芯截面积（cm^2），取B_{MAX}值为0.9T。

代入公式计算得：$N_0=50/26.5\approx 1.88$(匝)

4. 求出各绕组具体匝数

公式4：$N=UN_0$

公式中N是某绕组匝数，U是该绕组设计电压值，N_0是每伏匝数。考虑到绕组的电阻压降，次级绕组要增加5%~10%的补偿匝数。

初级绕组匝数N_1=220V×1.88=413.6（匝）

高压800V绕组匝数N_2=800×1.88×(1+5%)=1579.20（匝）

中压280V绕组匝数N_3=280×1.88×(1+5%)≈552.7(匝)

6.3V灯丝绕组匝数N_4=6.3×1.88×(1+5%)≈12.4（匝）

5V灯丝绕组匝数N_5=5×1.88×(1+5%)=9.87（匝）

10V灯丝绕组匝数N_6=10×1.88×(1+5%)=19.74（匝）

5. 求出绕组所用漆包线直径

公式5：$D=K_I I^{1/2}$

其中D是绕组漆包线直径，I是导线中通过的电流，K_I是载流密度系数，变压器载流密度取值为2.5A/mm^2可由表7查得，K_I取0.715。

根据公式可计算出：

$D_1=0.715 I_1^{1/2}=0.715\times(451/220)^{1/2}\approx$1.02(mm)，选取1.06mm。

$D_2=0.715 I_2^{1/2}=0.715\times(0.2)^{1/2}\approx$0.32(mm),选取0.41mm。

$D_3=0.715 I_3^{1/2}=0.715\times(0.3)^{1/2}\approx$0.39(mm),选取0.47mm。

$D_4=0.715 I_4^{1/2}=0.715\times 1.6^{1/2}\approx$0.9(mm)，选取1mm。

$D_5=0.715 I_5^{1/2}=0.715\times 5^{1/2}\approx$1.60(mm)，选取0.8mm双线并绕。

$D_6=0.715 I_6^{1/2}=0.715\times 7^{1/2}\approx$1.89(mm)，选取1.0mm双线并绕。

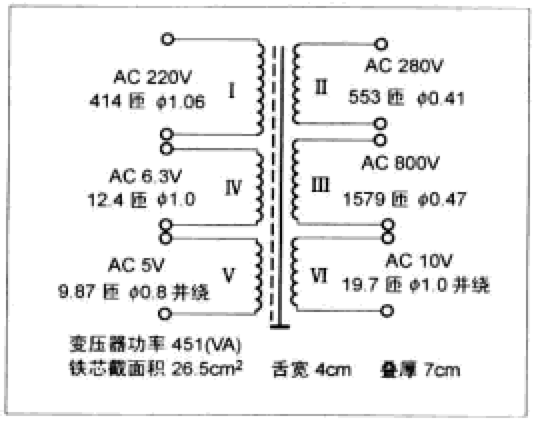


图5 813胆机电源变压器绕组设计参数

6. 选择硅钢片

选取硅钢片要充分考虑窗口能否容得下全部绕组，硅钢片的窗口面积中，骨架、层间绝缘纸、绕组外层绝缘包封要占去一部分，绕组排线不够紧密会浪费一部分窗口面积，所以谨慎核实绕组所占面积和铁芯窗口所能容纳面积，使绕组充分占用铁芯窗口。如果绕组占用面积大，铁芯窗口面积富余量很少，应选用较大规格铁芯。如果铁芯窗口面积富余较多，可选用直径较大规格的漆包线，可以降低绕组阻值，提高变压器效率。

铁芯的叠厚应设计在合理的范围内，舌宽和叠厚比例应控制在1:3范围。常用硅钢片规格表中列出了4种典型叠厚数据，根据变压器功率大小选择不同的叠厚，超出1:3的比例范围，变压器损耗将增大，效率下降。

通过以上理论设计得出，电源变压器总功率451VA，铁芯选用舌宽4cm，叠厚7cm，各绕组匝数及线径如图5所示。胆机电源变压器需要提供高电压、大电流，对于高电压绕组一定做好充分的绝缘措施，对于大电流绕组应充分考虑电流的富余量，选取合理线径的漆包线。一部胆机有充沛的能量供给，放大电路才能发挥最佳的音乐效果。调整静态工作点，选用经典的放大线路，使用发烧补品电容等摩机手段是在电源供给充沛的前提下，效果比较显著。如果电源能量匮乏，所有这些摩机手段都会白费。

表5　铁芯截面积系数K_P取值表

B_{MAX} (T)	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
K_P	1.5	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1	1.05	1.0

表6　匝数系数K_B取值表

B_{MAX} (T)	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4
K_B	75	64.3	56.3	50	45	40.9	37.5	34.6	32.1

表7　载流密度系数K_I取值表

载流量	2A/mm^2	2.5A/mm^2	3A/mm^2	3.5A/mm^2	4A/mm^2	4.5A/mm^2
K_I	0.799	0.715	0.652	0.604	0.565	0.533

玩转老功放之中高端产品篇 下

◎梓门

上期，我为大家介绍了DENON PMA-500合并式功放的基本特点。本期，我们来了解一下这款老功放的电路设计思路。

DENON PMA-500的电路原理概述

20世纪70年代的合并式功放的功能大都与已经介绍过的SONY TA-1150/D相似，整机的电路框图这里就省略了。其中相对高级一些的作法是，PMA-500的唱放（黑胶唱片电唱机的前置放大器）是独立的两个单元，一个是MM唱放，一个是MC唱放，当然，MC唱放的素质会高一些。PMA-500有两路Phono（唱放）输入，MM/MC唱放的切换只适用于Phono 2输入，MC输入端口是专用的接口（见图5）。PMA-500的话放（话筒前置放大器）的设计也很讲究，两路独立的话放并且增益是独立可调的。尽管这两部分电路的设计比较考究，但因为现在已经很难用到了，本文也就省略了。本文省略的还有输入信号的切换电路，电路原理直接从电源电路说起。

1. 电源电路与一点接地

从电源电路（见图6）开始说起的原因是“一点接地”，其他单元电路的接“地”最终都会归结到这里。因为是模块化电路，为了方便说明，笔者给各单元电路用字母编上号。在看本文的电路原理图时需要注意，每一个单元电路的元器件都是单独编号的，同一个编号会重复出现在不同部分的电路原理图

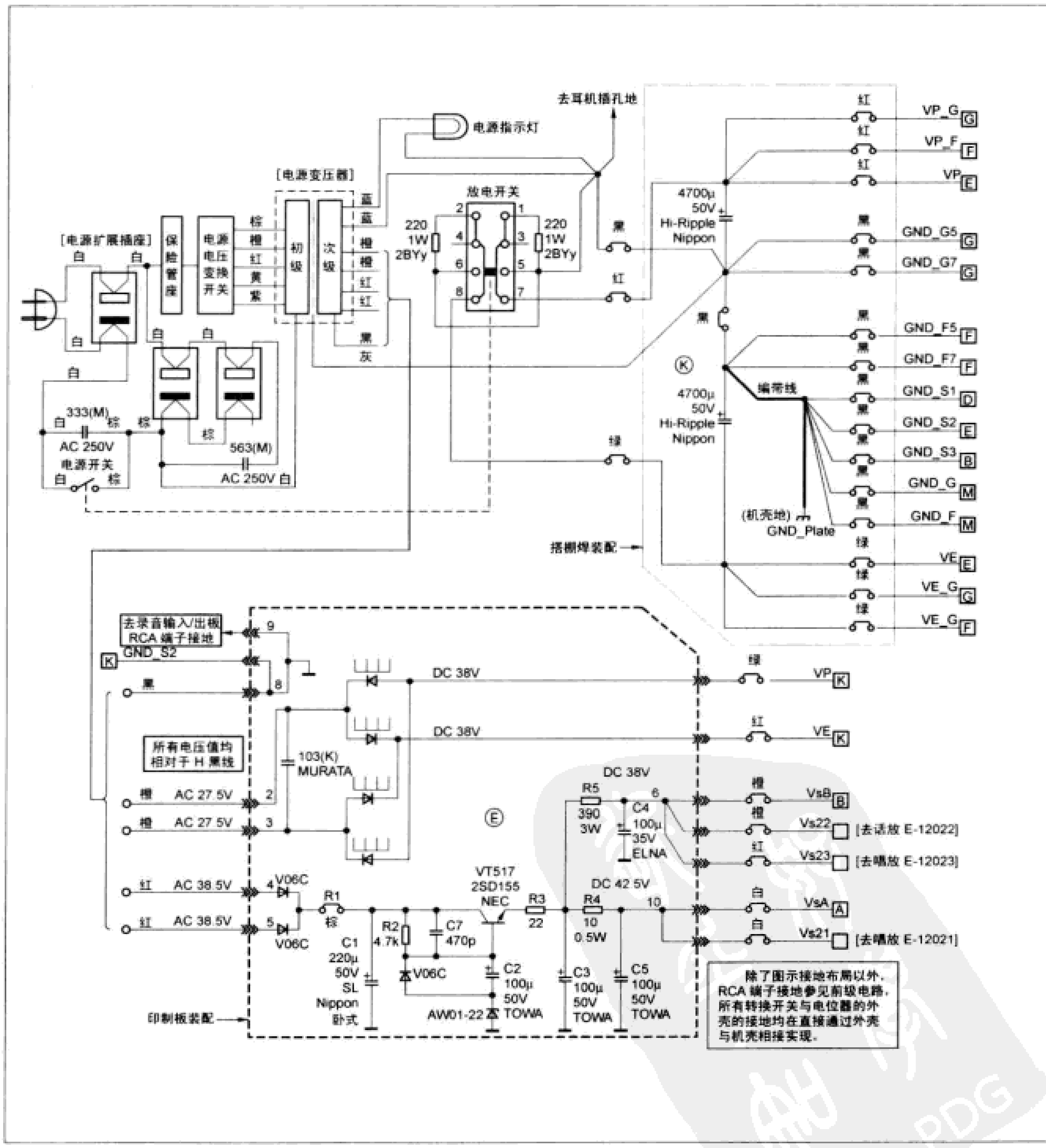


图6 DENON PMA-500的电源电路原理图

中，如A部分有R1，B、C部分也同样会出现R1。这与常见的整机电路的元器件统一编号的方法是有区别的。

市电的输入回路与扩展以及变压器部分用框图的形式画了出来，目的是节省篇幅，因为在介绍SONY TA-1150/D、Pioneer SA-1520时已经做了说明，它们之间是大同小异的。

电源变压器的型号，从标签上来看，是NIPPON生产的LT-1144，现在NIPPON的电容在圈内很知名，在过去，DENON选用了它生产的变压器，看来NIPPON的变压器也是不错的。电源变压器的初级与次级之间有屏蔽层，次级绕组有三组：一组为AC 6.3V，给电源指示灯供电；一组是双27.5V，给功放电路供电；一组是单38.5V，给前级部分供电。

前级电源全部为稳压供电，全波整流后是分立元件构成的串联稳压电路。要分清整流电路的形式，需要将E、K两部分对照来看，因为E部分的接地位于K部分。稳压输出用电阻分成了两路，一路为42.5V，一路为38.5V。各单元电路的电源均从这里直接引出，共5路电源。

E部分只是完成了功放电源的整流，滤波在K部分进行，两只安装在底板上的4 700μF电解电容画在了K部分，这一部分实际上是搭棚焊，并无实际的印制板，因此用圆点线标识出来，以示区别。K部分的重点是接地：平直的线只是电路原理图中的理想导线，所有的实际导线均用跨接线的符号表示了出来，即像桥一样的线。

功放电路的输出回路只是用保险管

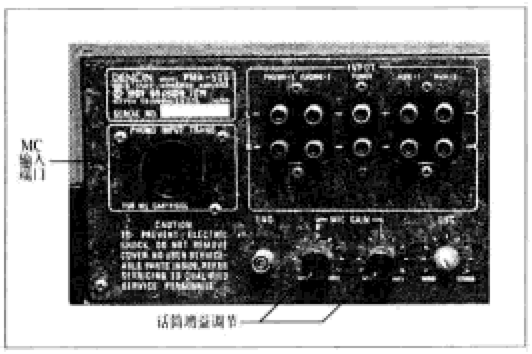


图5 DENON PMA-500的背部局部

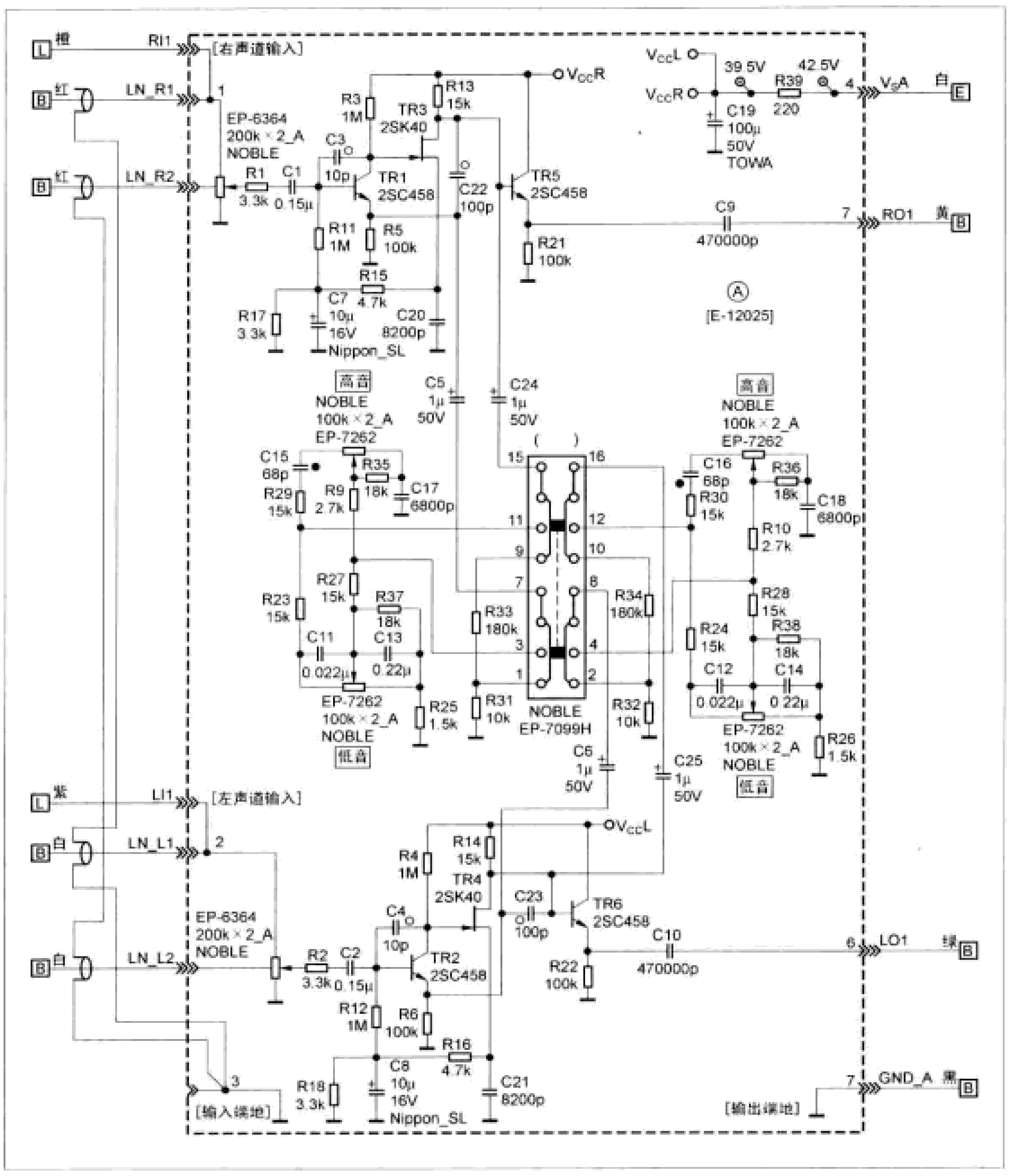


图7 DENON PMA-500的音量（部分）、音调电路原理图

进行了简单的保护，没有设置继电器一类的保护电路。为了抑制关机冲击声，与电源开关联动的一个双刀双掷开关用来对主滤波电容进行快速放电，尽管如此，关机时还是有一定的冲击声。

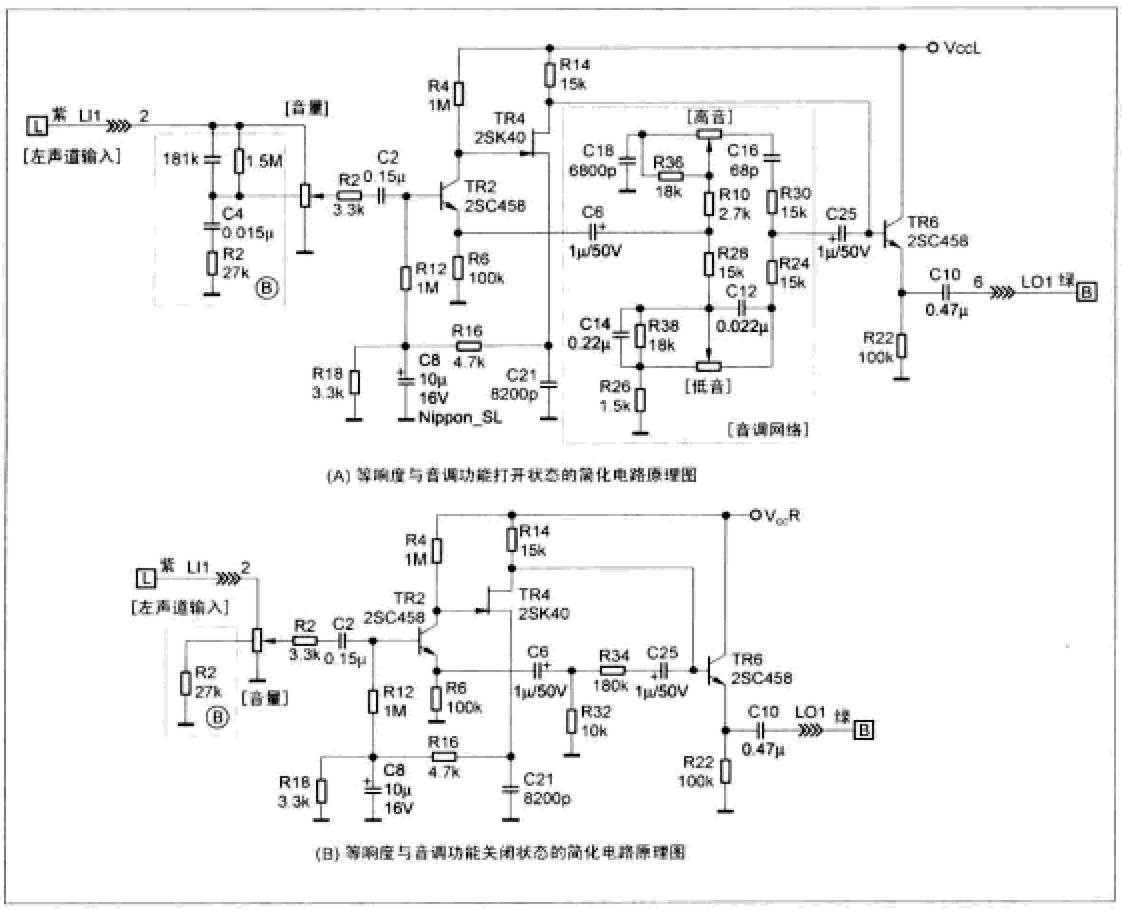
2. 音量/音调电路

音量 / 音调电路见图 7。

音量电位器有中间抽头，目的是进行等响度控制，只是RC网络位于B部分（见图8和图9）。

音调电路的基本形式是有源衰减—反馈式电路，略微有些变形。关于等响度控制与有源衰减—反馈式音调电路，在介绍SONY TA-1150/D时已经作了说明，这里不再说明。这里要说的是电路变形部分。为了便于说明，将这部分的电路简化为图8——去掉了等响度开关与音调直通开关以及抑制高频振荡的小电容，并将电路状态分成了打开与关闭两种情况。

等响度与音调功能打开时的简化电路见图8（A）。等响度控制的RC元件有4个，位于B部分，这里将它们挪过来了。音调部分的有源电路采用了JFET，但并不是常见的输入级，就噪声系数而言，双极型晶体管是有优势的。TR2、TR4似乎是典型的共集-共源电路，不过从音调控制而言，并不完全是。TR6构成的射极跟



(A) 等响度与音调功能打开状态的简化电路原理图

(B) 等响度与音调功能关闭状态的简化电路原理图

图8 等响度控制与音调电路的简化电路原理图

随器则比较容易理解，是为了将音调电路与后级电路隔离。就有源音调控制网络而言，TR2、TR4要分开来看。

从TR2的发射极→音调网络→TR6的基极来看，音调网络主要是衰减属性，即这一路是有源衰减式音调控制。TR2构成了射极跟随器，输出阻抗很低，能够很好地驱动音调网络。同时TR6构成的射极跟随器，输入阻抗很高，对音调网络的特性影响就会比较小。对音调电路的前级与后级而言，前级是TR2构成的射极跟随器，对输入信号（信号源）的要求不高，容易匹配。同样，对后级而言，TR6构成的射极跟随器，输出阻抗很低，有很强的驱动能力。

从TR6的基极→TR4的漏极→TR4的源极→R16→R12来看，音调网络主要是负反馈属性，而且，对负反馈信号而言，TR4是共栅极接法，带宽与线性都很好，输入/输出阻抗都比较高，很好地隔离了音调网络与TR2构成的输入级，也将衰减-反馈式电路中的“衰减”与“反馈”部分隔离开来了。

也可以从另一个角度来理解，这个有源衰减—反馈式音调控制电路，实际上是一个有源衰减式音调控制电路与一个反馈式音调控制电路的串联。因此，正如上文所说，就有源音调控制网络而言，TR2、TR4需要分开来看。

这样的音调控制电路，最大限度地降低了音调网络阻抗的变化对信号放大通道的影响。音调网络中的电位器进行调节时，音调网络的阻抗会发生很大的变化。电位器的阻值大一些，有利于减小上述影响，但是会影响音调调节的控制范围，同时也要求有源放大器的输入阻抗相应提高，反之亦然。无论哪种情况，都会增加失真，线性变差，这也是很多玩家不愿意使用音调电路而选择直通的原因。

当等响度与音调功能关闭时，简化电路见图8（B）。R2的作用是抑制音量电位器中心抽头引入的噪声，如果中间抽头悬空，就有可能引入噪声。当然，R2的存在对音量电位器的线性也是有影响的。音调部分的有源电路则变成了特性平直的线路放大器，增益约3dB。

3. DENON PMA-500的线路放大电路

音调电路之后是线路放大器（见图9），包含高频/低频切除、平衡、增益控制等调节功能。另外，这部分电路还包括了音量控制部分的等响度RC网络，只是为了集中布置控制开关，并无特别之意。

增益控制功能不太常见，这里是为了方便地将前级变成无增益的放大器，而无需使用合并—分体式转换开关而设的。当然，与纯粹的纯后级还是有区别的：前级虽然无增益，但是能够起到阻抗匹配的作用，同时，也会因为有源电路的存在而引入少许噪声和失真。整个前级的增益约20dB，所以增益控制开关所能控制的增益衰减量也是20dB，这对于高电平信号源是有用的，如现在的PC音频输出。

平衡控制一般位于前级的输入端，PMA-500则将它放到了音调电路、线路放大电路之后，好处是能够纠正前级电路带来的通道不平衡问题。

已经介绍过的SONY TA-1150/D并没有设置专门的线路放大器，这是PMA-500的设计考究之处。这部分的转换开关众多，为了便于理解，同样将其简化（见图10）。不难发现，线路放大器将各部分控制电路很好地隔离了。

高频/低频切除网络位于音调电路的输出侧与线路放大器的输入侧，被两部分电路的有源电路（即晶体管构成的射极跟随器）隔离了。

平衡与增益控制被图10中的TR2、TR4构成的两级射极跟随器隔离了。增益控制是用短接电阻实现的，即控制图10中的R28、R30、R32。图中所示的接法的增益是0dB，如果把R28短接了，就是-10dB，即衰减10dB，如果把R28和R30同时短接了，就是-20dB。

平衡电位器所用的固定阻值比较大，这对提高通道分离度是有好处的。不仅如

此，平衡电位器还是特殊结构的电位器，即半程电位器，它的一半行程相当于短路线，是没有阻值的（图中电位器的填白部分）。因此平衡控制需要对照图 9 来看：如果平衡电位器位于中间位置，就没有平衡作用，而且对两路信号均无衰减作用。电位器偏离中间位置，旋向任何一方，都对其中一路信号有衰减作用，对另外一路没有。这种方式不但降低了插入损耗，还大大提高了通道分离度。换言之，明显降低了平衡电位器对通道分离度的影响。

常见的用于平衡的电位器是全程控制的，即使平衡电位器位于中间位置时，对两路信号也是都有衰减作用的，只不过衰减量相同。当电位器偏离中间位置时，是改变了对两路信号的衰减比例。如果采用固定阻值比较大的电位器，虽然有利于降低对通道分离度的影响，但是会增加插入损耗，反之，如果采用固定阻值比较小的电位器，虽然有利于降低插入损耗，但是会增加对通道分离度的影响。半程电位器能够兼顾上述两个问题。

4. 后级电路

一个声道的后级电路（见图11）是独立的一块电路板，另一个声道的电路与此完全相同，在此省略了。

电路的输入级为NPN对管构成的差分放大电路，输出级是TO-3封装的达林顿管，这是它与常见的OCL电路相同的地方。输出回路只是一个简单的速融型保险管，用于保护扬声器，这与SONY TA-1150/D所采用的断路器保护方法相似。

细看之下，PMA-500所用的OCL功放电路与常见的电路相比，也有着很多的不同。

（1）宽带放大器

反馈电阻R12上没有并联补偿电容，也就没有在反馈电路上限制电路的带宽，输出回路也没有串联抑制高频振荡的电感，抑制高频振荡的就只有常见的茹贝尔电路（见图11，C9与R19组成）。

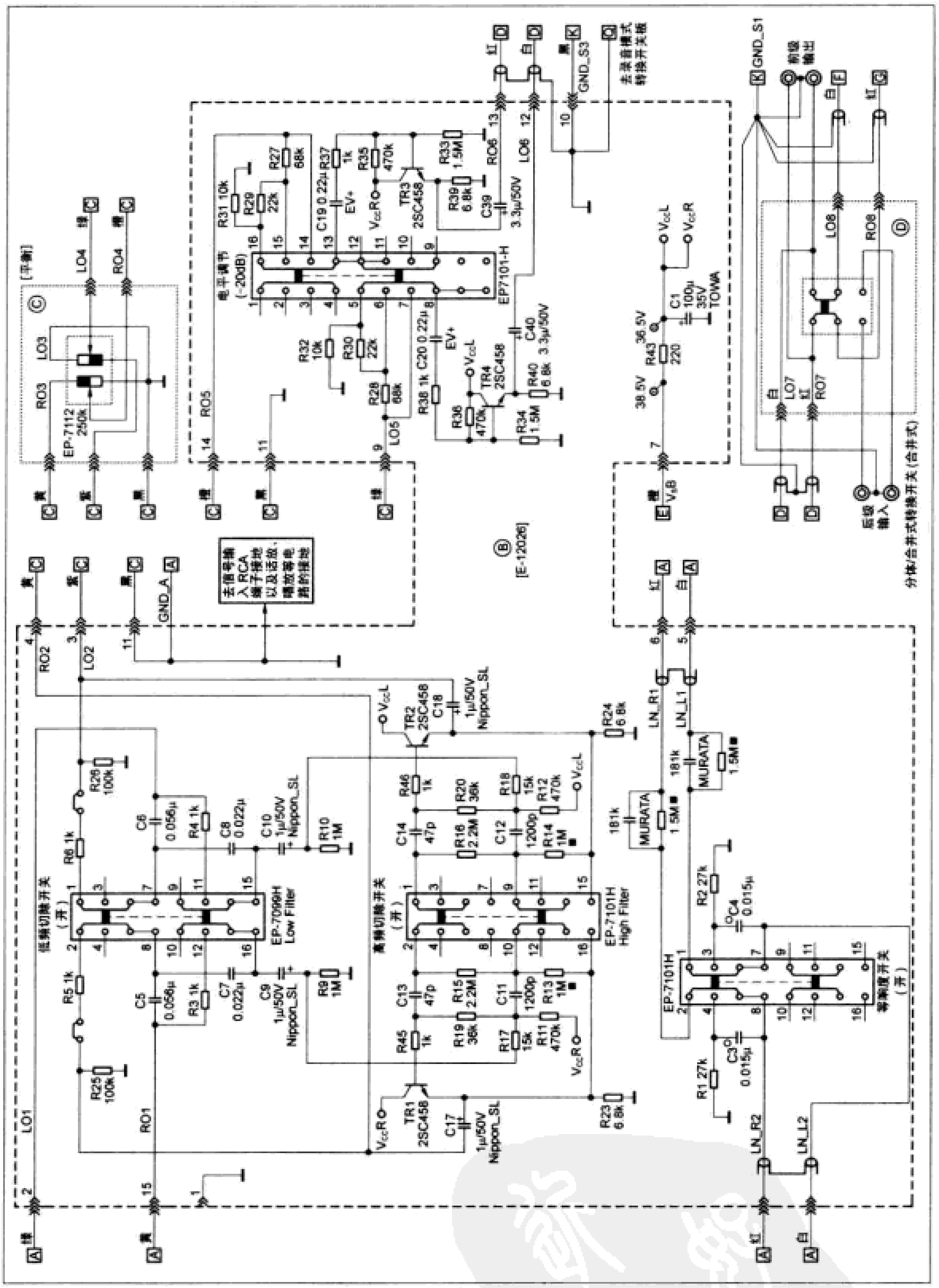


图9 DENON PMA-500的线路放大电路原理图

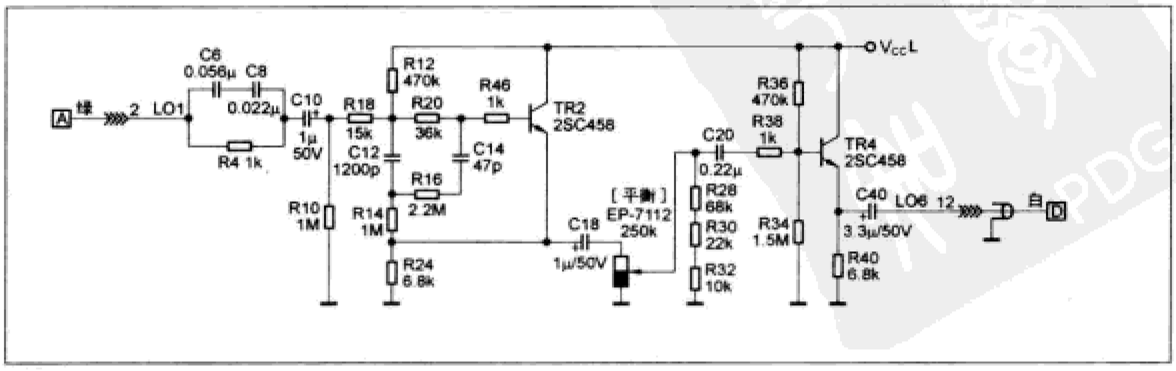


图10 线路放大器的简化电路原理图（高、低频切除功能关闭，增益控制开关置于0dB）

（2）反馈电路的器件位置

反馈电路的阻容元件是R12与C3、R6，但是位置有些不同。常见的电路，R12是与功放输出端相连的，而这个电路，与功放输出端相连的是C3与R6。两组元件调换位置，有什么特别的不同吗？因为R12的隔离作用，TR2基极得到的反馈信号将是更纯粹的直流，直流工作点将更为稳定。既然有这样的好处，为何没有被广泛接受？

如果将串联的C3、R6视为RC低通滤波电路，其转折频率约为4Hz，与之并联的茹贝尔电路C9、R19，转折频率约为60kHz。显然，就音频而言，C9、R19对高频响应的影响及C3、R6对低频响应的影响都是可以忽略的。但是C3、R6与负载（扬声器）的关系是并联的，它们对扬声器的补偿作用，可能有利，也有可能有弊。换言之，有些扬声器可能会不适应。而常见的电路，因为R12的隔离作用，就不会有上述不确定的问题。

（3）特别的基极偏置

4.7kΩ的可调电阻不但是输出中点电压的调整点，同时也给输入级晶体管的基极提供了固定偏置，这种用法不太常见。通常，调整输出中点电压的电位器是位于集电极回路的。

（4）碳膜电阻

电阻带有“KY”、“2BYy”、“KYy”等字样的，是碳膜电阻。在电子管放大器中，有一种说法是，碳膜电阻的阻值容差和温度漂移系数虽然大，但是音色表现更为温暖。在晶体管放大器中，也有这样的说法吗？

（5）NULL BALANCE

G部分并未画出扬声器的地线回路（见图11），扬声器的地线回路是M部分。扬声器的地线回路串接了一个自复位开关，名为“NULL BALANCE”，中文含义是“平衡调零”、“平衡的零点”，其作用却未见权威可信的公开资料进行说明，当时KENWOOD的一些功放也设置了这种开关。不管具体功能到底为何，按下这个开关，倒是可以方便地暂时断开两路扬声器。如果是调整系统的平衡，就需要将这个开关悬空的两个脚短接，但是实物并没有这么做，除非有人修过，主观地将其断开了。

（6）功放的接地

如果算上扬声器的地线，一个通道的功放电路有4条地线分别与公共接地点相连，可以参考图6，一点接地在这里体现得最为充分。

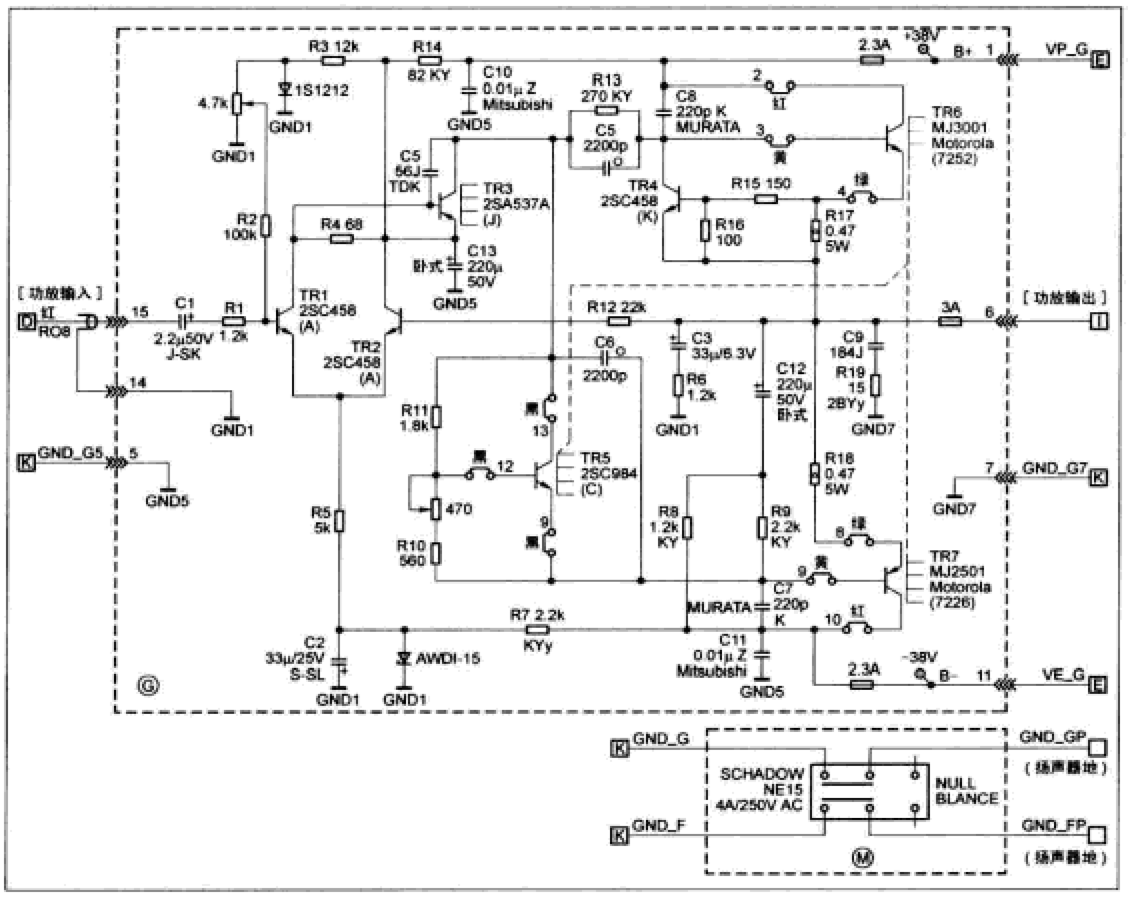


图11 DENON PMA-500的功率放大电路

表2 PMA-500所用双极性晶体三极管的主要技术规格

型号	电压规格	电流规格	功率规格	放大能力	特征频率	制造商	互补管型号
	V_{CEO}	I_C	P_C	h_{FE}	f_T		
2SC458	30V	100mA	200mW	100～500	230MHz	Hitachi	2SA1209
2SA537A	－80V	-0.7A	0.75W	35～200	200MHz	Hitachi	2SC708A
2SC984	50V	0.5A	0.35W	80	230MHz	Hitachi	2SA565
MJ3001	80V	10A	150W	4000	200MHz	Motorola	MJ2501
MJ2501	－80V	10A	150W	4000	200MHz	Motorola	MJ3001
2SD155	80V	3A	25W	65		NEC	2SA616

表3 PMA-500所用JFET的主要技术规格

型号	电压规格	电流规格	功率规格	放大能力	关断电压	噪声系数	制造商
	V_{DSS}	I_{DSS}	P_D	g_m	V_{GS}（off）	N_F	
2SK40	50V	0.6～6.5mA	100mW	1mS～15S	－0.4～－0.5V	1～2.5dB	Hitachi

晶体管规格

PMA-500所用双极型三极管的主要技术规格见表2。PMA-500所用的JFET不太常见，主要用于LNA（低噪声放大器），主要技术规格见表3。

一款用ON管子制作的高性能MT-150功放

◎卞镜秋

安森美（ON）半导体公司在电子领域几乎无人不知。同样它在音响发烧友中也是大名鼎鼎，其制造的三极管质量可靠，稳定性好，推动的声音更受到发烧友的一致好评。最近我设计了一款全部用ON管子放大的功放电路，取得了不错的效果，现在与各位发烧友分享一下。

电路原理

整机电路见图1，功放中2个声道共用一组电源，放大电路也一样，图中只画了一个声道的电路图。

电路比较简洁，所用元件也并不多。交流电源从接线端J3输入，经过大电流型整流桥RBV5008整流为直流电后，经过2个思碧36DX系列大电容（8700μF 40V电容）为整个功放电路供电。

信号由J1输入，先经过R2和C1组成的滤波电路，滤除高频干扰，使功放更稳定地工作。由于转折频率很高(510kHz)，对声音重放不会有任何影响。

VT3、VT4组成差分放大电路，与周围元件构成功放的输入级。VD2、R4、VT5、R11组成一个恒流源，作为输入级的偏置恒流源，电流为3.55mA，这样输入级电流恒定在1.775mA。其中VT3、VT4、VT5均使用ON的达林顿小功率管2N6426，是为了增加线性度和输入阻抗，以进一步提高功放的性能。同时使用达林顿管比使用2级达林顿输入要方便和稳定，不容易自激。另外，2N6426声音也是非常出色的，与东芝名管2SK170对比，声音基本一样，而且2N6426还有更好一点的低音表现。这2个管子引脚排列一样，用在差分电路中可以互换。

VT1、VT2与R1、R5、R6、VD1是一级共基极放大电路，与输入级组成了共射共基电路。这是个性能出众的电路，有着很高的输入内阻和很大的增益，同时不降低放大器高频响应和线性度，且此电路不容易自激，稳定性好。VT1、VT2选用的是ON的发烧名管MPSA42。

MT-150功放的电压放大级也是比较有特色的，VT6~VT9及几个相关电阻共同组成了电压放大级。VT6、VT7是共射放大电路形式，把输入级放大后的电压信号转换成2个相位相反的电流信号。VT8、VT9、R12、R15共同组成比例镜像恒流源电路，把VT6输出的电流信号以1:1的比例反相成为与VT7输出同相位的电流信号，共同推动输出级。之所以选用这样的电路形式，是因为功放电压放大级非常重要，特别是在失真和信噪比方面，这种电路可以有效地抑制共模噪声，使功放信噪比和

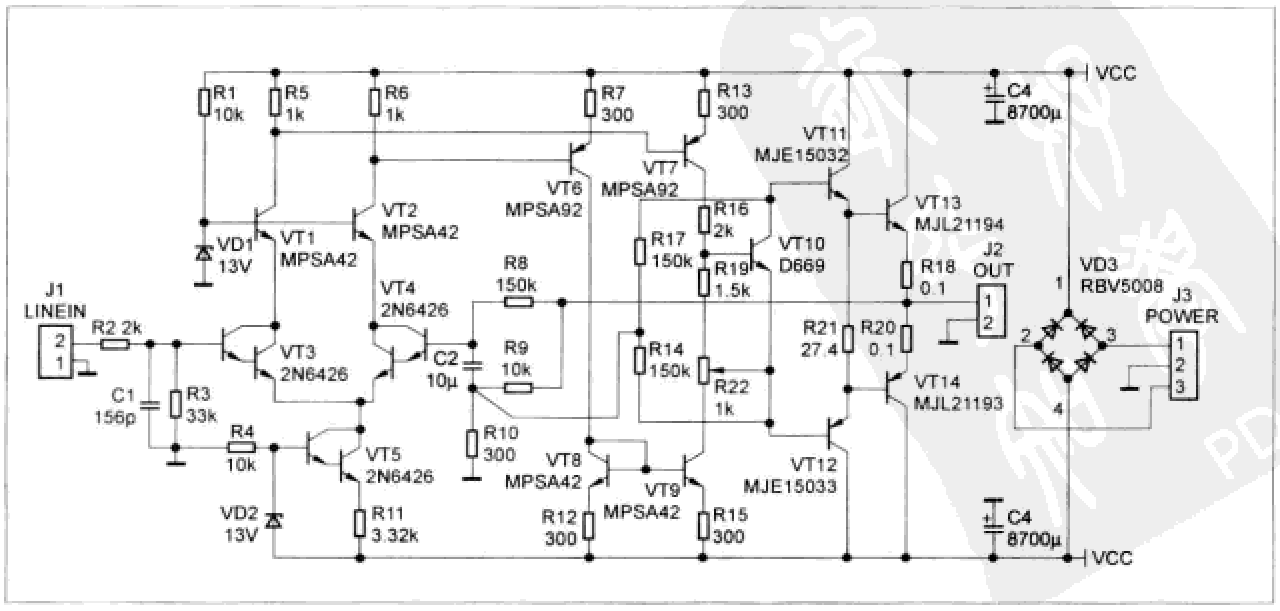


图1 电路原理图

分析力进一步提高。在元件选择方面，电压放大级对功放整体声音表现非常关键，选用了ON的MPSA42、MPSA92，这对管子的声音表现整体平衡性非常好，低音适中、中音准、高音延伸好而且细腻。

MT-150功放输出VT11、VT12、VT13、VT14组成的2级达林顿电路，推动级用MJE15032、MJE15033，输出管用MJL21193、MJL21194对管，这2个管子的特点不需要多介绍了，发烧友对它们都非常熟悉，也深知这对管子的品质。输出级偏置电路由VT10、R16、R19、R22组成，VT10选用全塑封的偏置专用管HD669，同时它还有温度补偿的作用，紧贴散热器安装。R22用来调节静态电流，选用高精密的多圈可调电阻。R8、R9、R10、C2共同组成了负反馈网络，其中R8和C2是个无源伺服电路，以稳定中点电压。

电路中所有的电阻均使用美国生产的DALE高精密发烧电阻，对功放性能和声音都有着很大的正面影响。出于调音的需要，功放中并没有使用小容量的退耦电容。

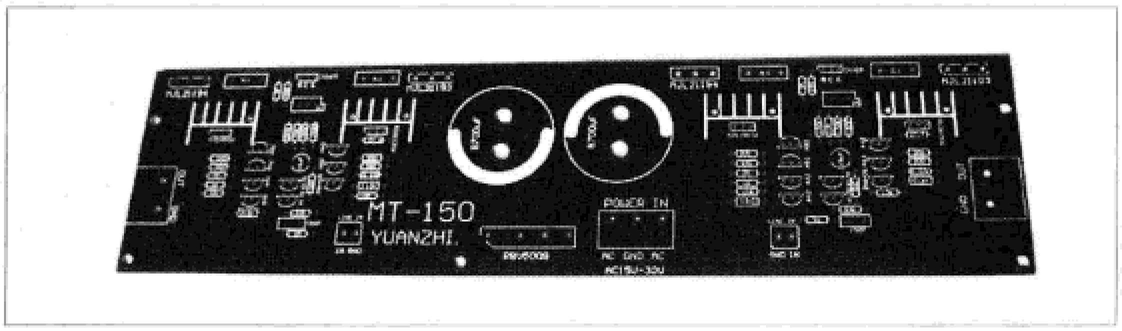


图2 做好的PCB

制作过程

MT-150本意就是设计成HI-FI功放，所以制作方面非常讲究，每个细节都非常注重。

先说说电路板，MT-150使用了高档的FR4 PCB，布线方面严格按照一点接地来设计，2个声道镜像对称排版，大电流连线加大了线径，以增加其过流能力，做好的PCB见图2。其中板上的输入管型号标的是K170，实际使用是2N6426。

现在开始装机了，当然是先焊接好元件，再进行电路粗调。一般的焊接顺序是先逐个将元件焊接好，留着大功率管，见图3。

接着进行电路粗调。粗调的意义是在焊接功率管之前排除一下是否有不正常的情况，以免出错烧了功率管。功放板接上交流双26V电源，瞬间通电一下，没有发现异常。然后正式通电调试，先测试整流后的电源电压，测量得±36V，参数正常，再测推动管VT11、VT12的发射极电压，其中一个声道的是+3.23V和+2.32V，2个功率管的基极电压差在0.91V，属于正常范围内。同样的方法测试另外一个声道，也是正常。这样，粗调就完成了，见图4和图5。

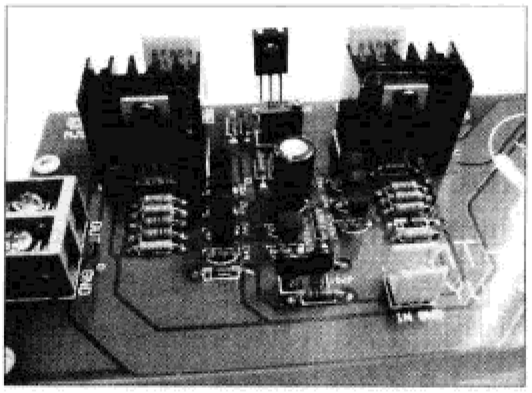


图3 焊接元件分布图

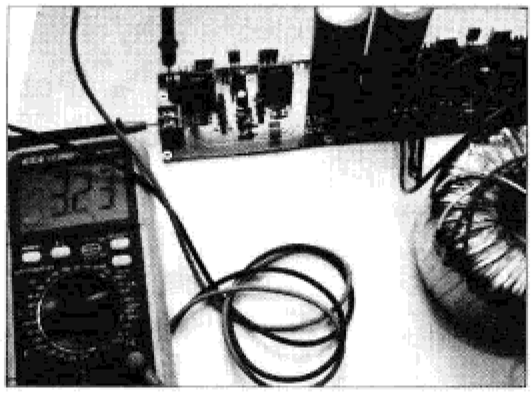


图4 测量推动管的发射极电压

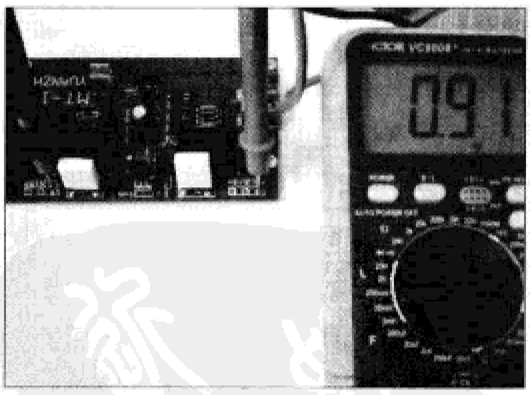


图5 测量两个推动管的基极电压差

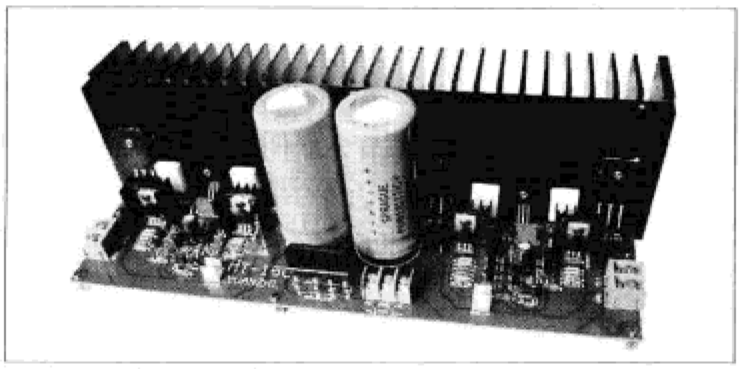


图6 安装好散热器与功率管

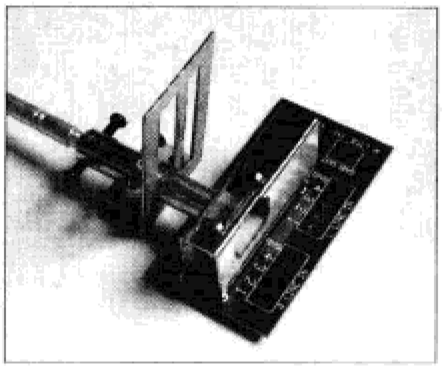
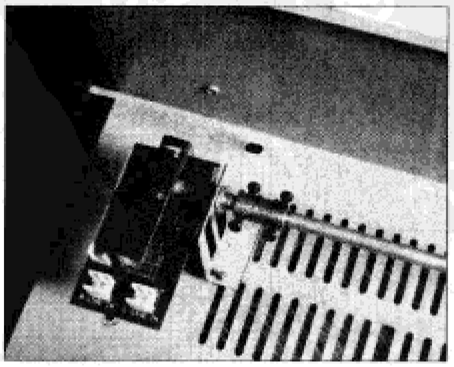


图7 安装波段开关与连杆



测量参数正确，赶快焊好功率管，安装好散热器，功率管和散热器间加上云母片，涂上硅脂，起到绝缘和导热的作用，见图6。

接着加上波段开关，波段开关用连杆安装在后面靠近输入RCA处，这样可以减少干扰，见图7。

再装好电位器，电位器选用ALPS的27蓝壳电位器，若面板上的电位器孔不适合，可用电钻开大些。电位器到功放和波段开关的连线选用高级的纯铜屏蔽线连接，并做到屏蔽层一端接地。

最后是安装好环形变压器和接好电源开关和电源线。变压器安装在散热器的另外一边，散热器把功放板和环形变压器隔开了，这样能很有效地减低干扰，使功放背景更宁静，装好后整机的内部见图 8。

图8 装好后的整机内部

到此，功放已基本安装完毕，到最后的调试阶段了。

由于功放之前已经做了粗调，现在调试就方便安全多了，只需要一个万用表和一个小的一字螺丝刀就可以。先快速接通电源一下，并立刻关断，发现没有任何异常。万用表调到200mV直流挡，2根表笔分别放在一个声道的输出端和其中一个功率管的发射极上，测试这个声道的静态电流。再次接通电源，万用表上此时读数为零，说明此时功率管并没有导通。用螺丝刀顺时针调节可调电阻，转几圈后万用表读数开始升起来了，由0.1mV慢慢地往上升，逐步调到21mV，这时此声道的静态电流为210mA。再测输出端对地电压，测到12.9mV，在正常范围，这个不需要调试，功放会自动调节稳定，见图9和10。

图9 测量声道的静态电流

图10 测量输出端对地电压

用同样的方法，调节好另外一个声道的静态电流。并且让其工作半小时，热稳定后再调节一次，让2个声道的静态电流保持一致，这样调试就完成了。

接着就是接上音源和音箱，试听结果一切正常，最后安装好上盖板，整个功放制作完毕。

功放声音

刚做好MT-150功放，我就立刻试听了几张熟悉的CD，整体声音还比较满意。有《黄河》、《梁祝》等曲目，都非常让我惊喜。《黄河》那浩瀚澎湃、排山倒海的气势和《梁祝》那幽怨缠绵的声音，被表现得淋漓尽致，实在难得。

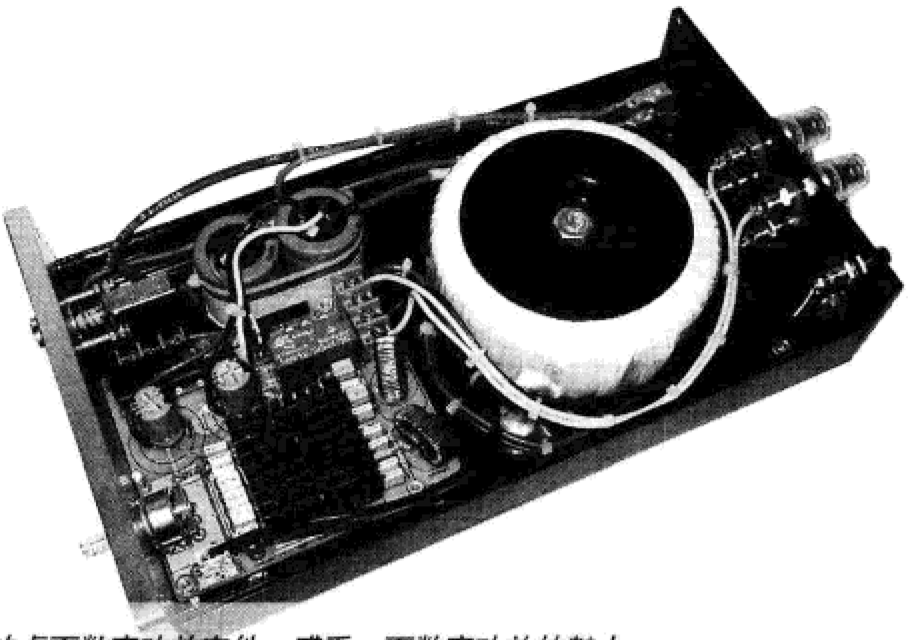
总结

对于MT-150功放的制作，特别是调音时，花费了很长时间。同时我也尝试过不少元件，现在的方案就是经过多次对比试听才定下来的。简单地说一下校音经历，先是滤波电容用过ELNA的FOR AUDIO电容，日本化工的AUDIO电容及尼康电容等。它们都各有特点，但都不是我想要的声音，最后选用了思碧的36DX电容作为主滤波，并且没有用退耦电容，这样的声音最自然，也是最平衡的。我主要对比了输入和电压放大级用不同的管子产生的不同声音，试用过的管子有K170、K246、A1145/C2705、A970/C2240、B647/D667等，可以说不同的管子声音都不同，最后输入级使用了2N6426，共基极放大使用了MPSA42，电压放大级使用了MPSA42和MPSA92。

MT-150功放是全部使用ON管进行放大的合并式功放，有兴趣的朋友不妨一试。

小巧的D类功放

◎牛歌



笔者最近对D类功放比较感兴趣，这次选择了一款小巧的桌面数字功放套件，感受一下数字功放的魅力。

D类功放工作于开关状态，其能量的转换效率要远远高于传统的模拟功放，通常都高达80%以上，而传统的模拟功放大部分工作于甲、乙类，典型的效率不过30%左右。同时，由于效率高，D类功放在体积和重量上相比传统功放有较大的优势。

套件介绍

套件的主体采用了飞利浦公司出品的TDA8920TH，这是一个小巧的贴片IC，只有大拇指甲盖大小，外围电路相当简单，所用的元件很少。使用很小的PCB就可以搭建起来。其具体性能参数见表1，整机的电路原理见图1，PCB照片见图2。

由于D类功放的效率较高，对PCB布线的设计有相当高的要求，通常要经过反复试验才能取得很好的效果，而且技术的发展使相当多的元件都采用了贴片式的封装，对习惯了传统焊接方式的烧友提出了新的挑战。

那些芝麻粒大的电阻、电容，不仅相当考验眼神，而且对手的稳定性要求也比较高。在焊接的手法上比传统直插式的元件要讲究得多，一个不小心就会掉落，再想找到它们可就是一件非常不容易的事了。为了降低制作难度，套件已经将其中部分贴片元件直接焊接在PCB上，免得没有贴片元件焊接经验的烧友头疼。除去了那些小贴片，就只剩一个主芯片考验焊接技术了。总体上讲，这个电路的制作难度不大，因为安装元件很少，散热还是配套好的。如果元件和焊接没有问题，整机也不需要进行调试。从总体成本上看，比普通的LM3886、TA4766之类的套件还要低，而实际的分析力和层次表现更在此类IC之上。

TDA8920虽然是贴片的，但是与电脑和手机中的贴片IC相比，脚距相对较宽，对于有经验的烧友来说，比较容易焊接，不需要专用的焊接工具，使用普通的烙铁就可以搞定。由于这类IC通常都是大规模的CMOS结构，对静电相当敏感，焊接时记得烙铁要接地或者用焊台，以免出现意外。否则好不容易焊上去了，通电时才发现芯片已经坏掉，那时就太晚了。

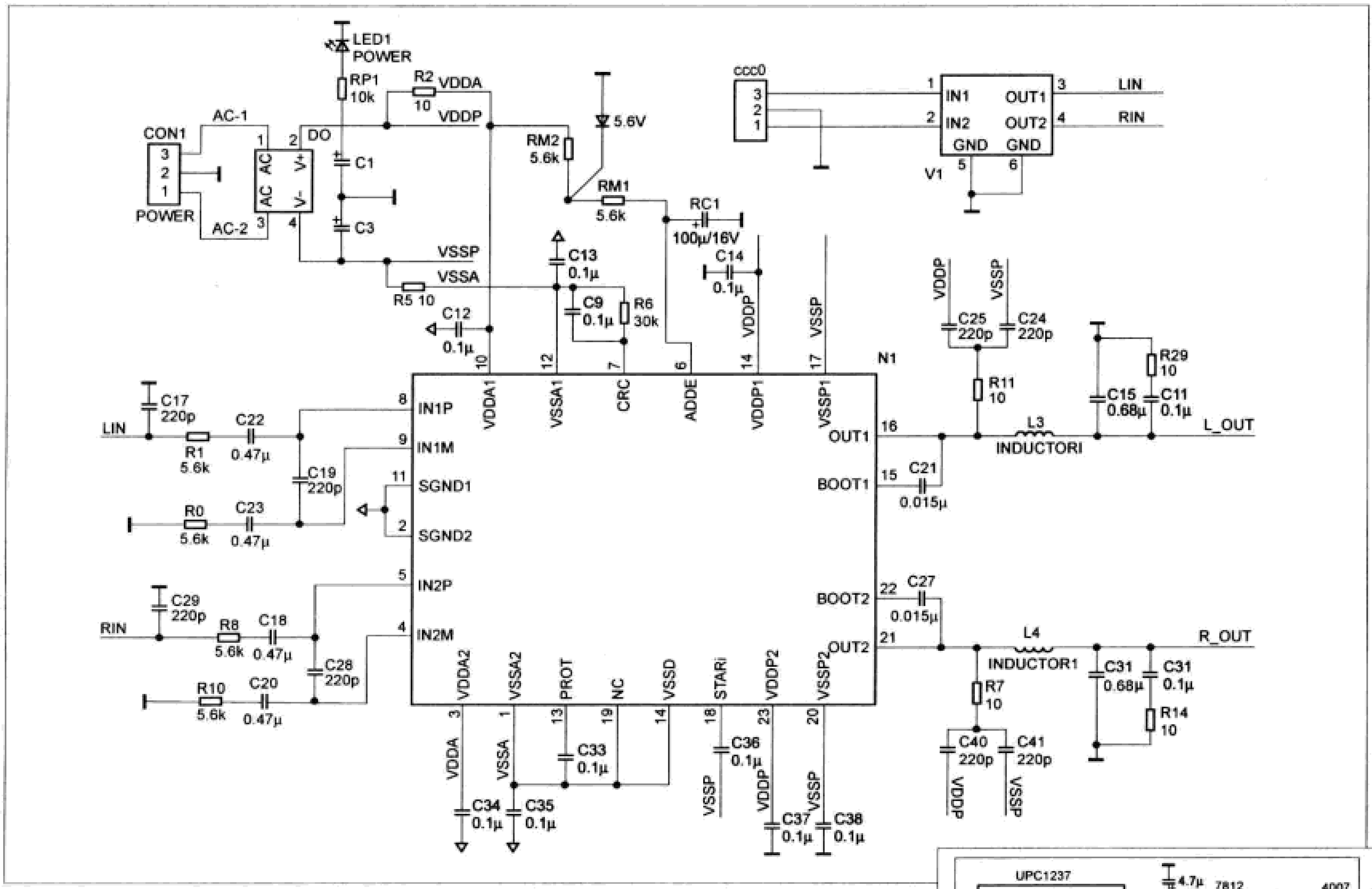
这个PCB已经是第二版了，无论在用料、布局和音色都比第一版有很大的

表1　双声道输出功率资料

符号	意义	条件		最小值	典型值	最大值	单位
P_O	输出功率	R_L=3Ω；V_P=±27V	[2]				
		THD=0.5%		–	87	–	W
		THD=10%		–	110	–	W
		R_L=4Ω；V_P=±27V	[2]				
		THD=0.5%		–	69	–	W
		THD=10%		–	86	–	W
		R_L=6Ω；V_P=±27V	[2]				
		THD=0.5%		–	48	–	W
		THD=10%		–	60	–	W
		R_L=8Ω；V_P=±27V	[2]				
		THD=0.5%		–	36	–	W
		THD=10%		–	45	–	W

BTL 桥接输出功率资料：

符号	意义	条件		最小值	典型值	最大值	单位
P_O	输出功率	R_L=6Ω；V_P=±27V	[2]				
		THD=0.5%		–	174	–	W
		THD=10%		–	210	–	W
		R_L=8Ω；V_P=±27V	[2]				
		THD=0.5%		–	138	–	W
		THD=10%		–	173	–	W
THD	总谐波失真	P_O=1W	[2]				
		f_i=1 kHz		–	0.02	0.05	%
		f_i=6 kHz		–	0.03	–	%



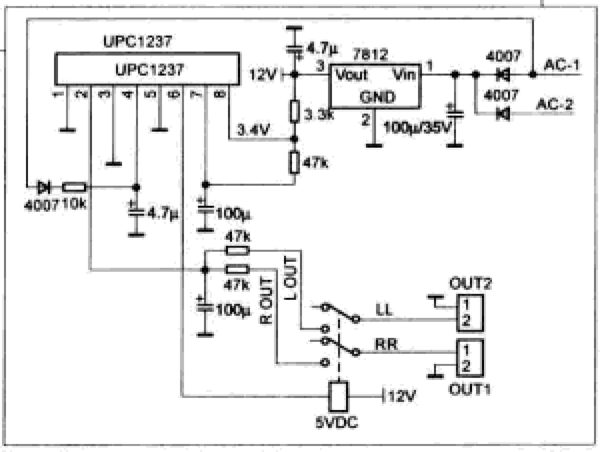


图1 电路原理图

提高。针对HI-FI设计，和一般市面上的TDA8920套件有如下不同点：

1. 采用数模分离地线设计，而不采用统一铺地，干扰极小，声音更纯静。

2. 走线全部为圆弧走线，没有45°和90°拐点，声音更圆润。

3. 关键点全部为德国ERO电容，实验测试比红威马和黄色的汤姆逊电容声好很多。

4. 主电容预留位置较大，可以安装直径为25mm的产品，方便安装更大容量的电容，以便得到更充足的电源供应。

5. 输出电感是D类功放的一个关键元件，对于整机的声音表现和损耗都有很大的关系。本机采用了出色的红环磁芯来绕制电感，与普通的产品相比，具有更低的损耗和更全面的声音表现，特别表现在高频响应和细节还原上，各种电感的对比见图3。

6. 具有零死区开关，先进的电流保护功能，工作启动平滑，增设UPC1237保护。相比之下，功放大多比较便宜，而扬声器却是最昂贵的，完善的保护功能是一台合格功放必须具备的。

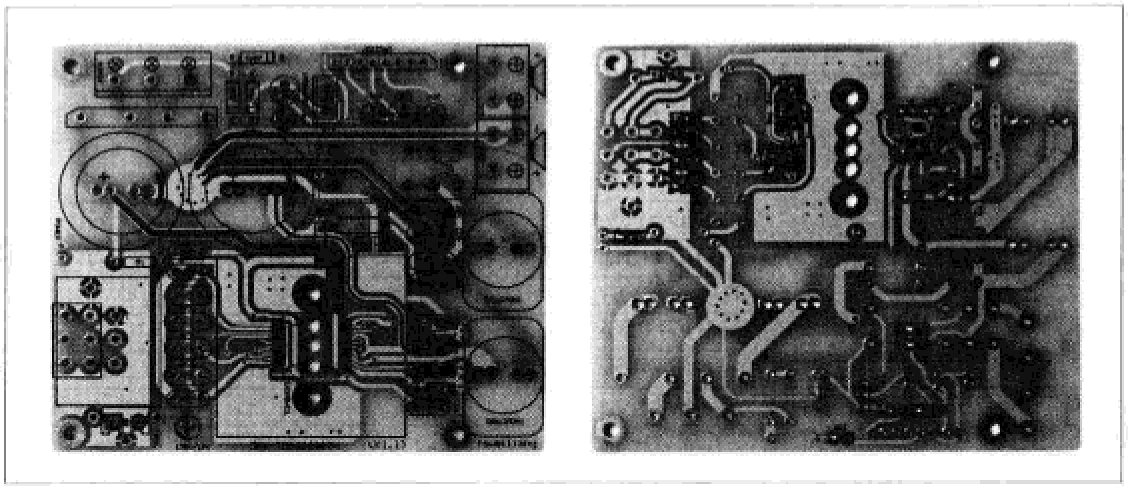


图2 PCB布局

7. 整流采用三肯大电流桥，音量电

位器兼容16和27型电位器。

对于D类功放，由于牵扯到模拟和数字两个方面，工作效率又比较高，PCB的设计和元件排布都非常讲究。本机的PCB设计小巧精细，尺寸为100mm×86mm，相比市面上很多同类TDA8920板卡，分析力明显胜出，关键在于PCB地线的数模分离。另外此电路简洁，制作成功率高，作为一台入门的数字功放是非常合适的选择。

元件选择

套件不含主电容，其余的PCB、散热、IC、阻容、螺丝（装散热用的）、电位器等一应俱全，关键电容采用了德国ERO或者RIFA、BC品牌，以保证声音的质量。

变压器的要求：最低12V×2、最高20V×2，功率建议范围在80~200W(实际上3~40W的小牛带上也有不错的效果）。本套件标配的是双18V输出120VA的环牛。套件全家福见图4，电感与核心IC见图5。

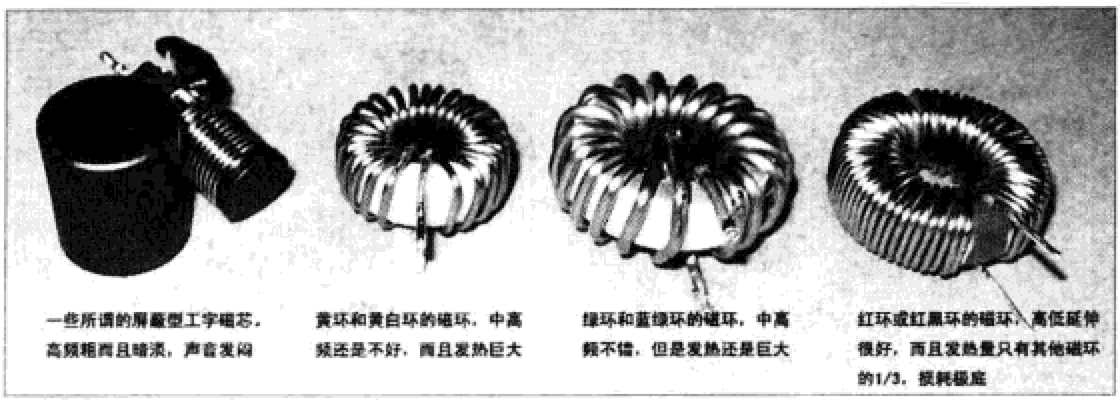


图3 各种电感对比

实际制作

由于套件非常简单，熟练的烧友大概在30~60分钟就可以完成全部制作。

对于笔者来说，焊接方面不存在任何问题，重点考虑的还是在小小的机箱内部如何将各个单元和走线合理布局。唯一需要进行的五金加工就是在机箱的底板上打孔，其中PCB固定孔4个，机脚固定孔4个，变压器固定孔1个。打孔对位置的精度要求很高，一定要仔细画线定位。先用小冲子冲一个小坑为钻头定位，然后放心大胆地进行钻孔就可以了。机脚和PCB的

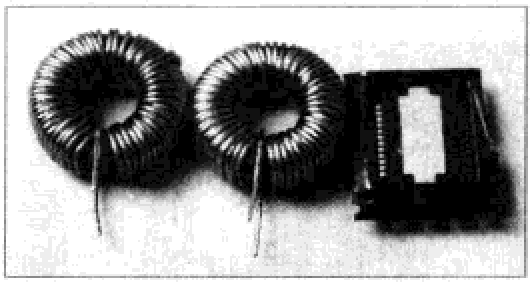


图5 电感与IC

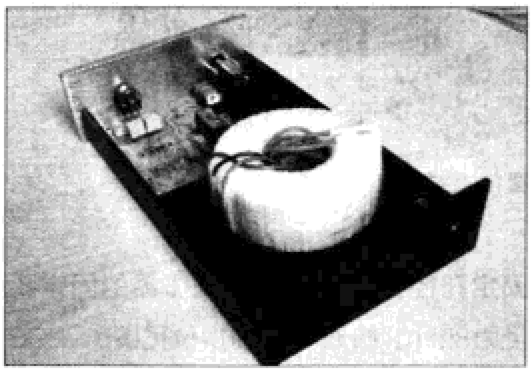


图6 机箱内布局

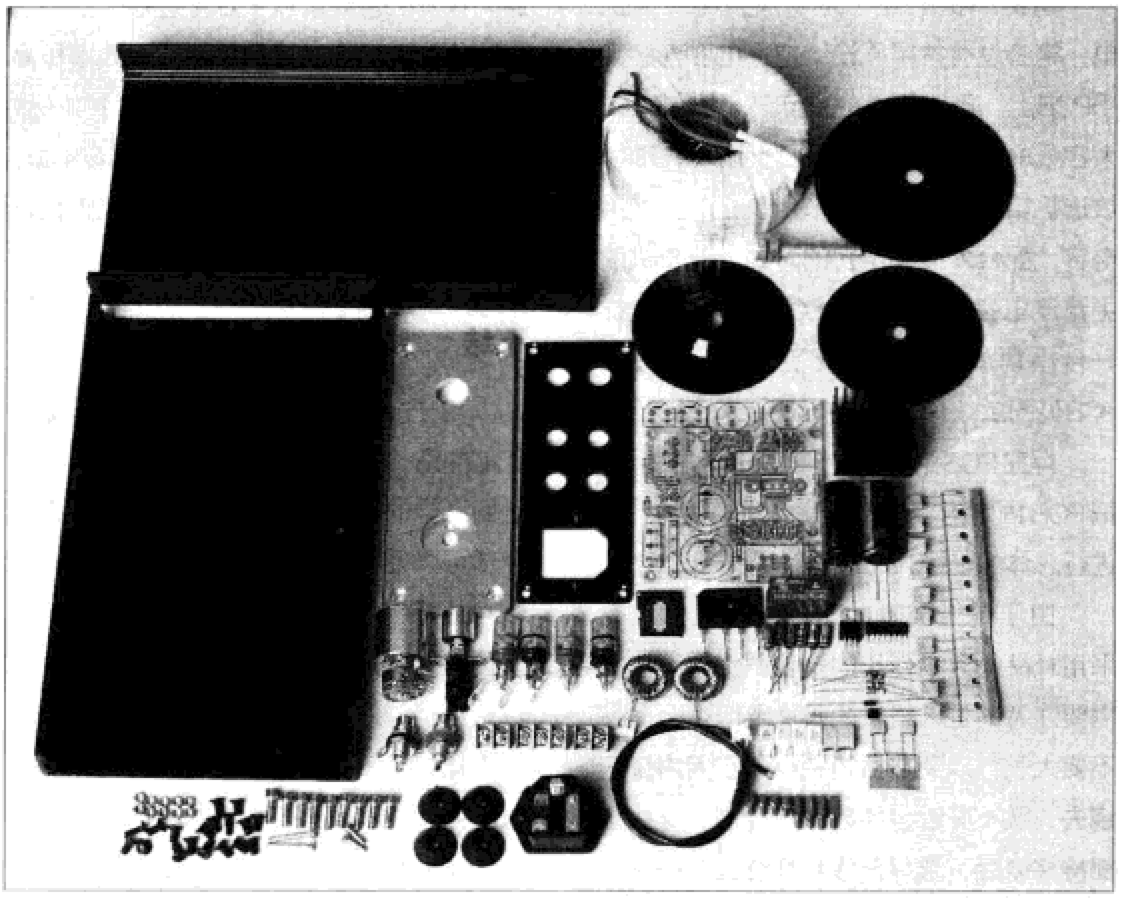


图4 套件全家福

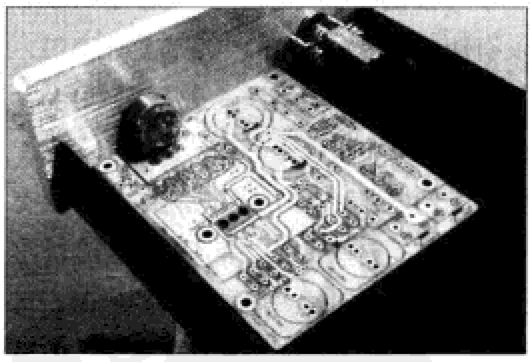


图7 PCB和电源开关的定位

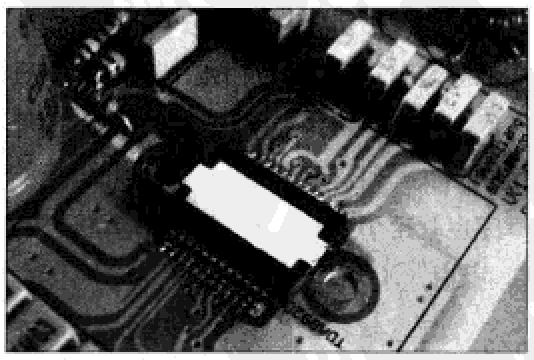


图8 焊接好的IC

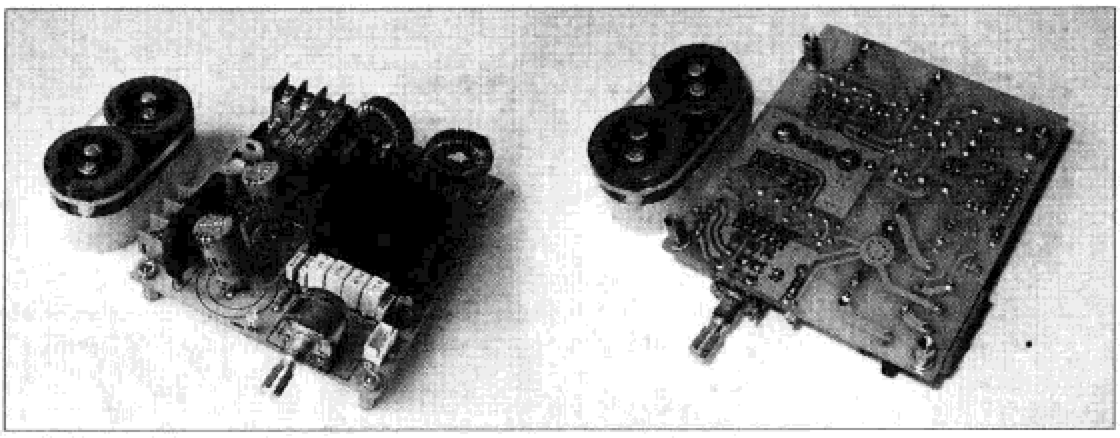


图9 焊接完成的PCB

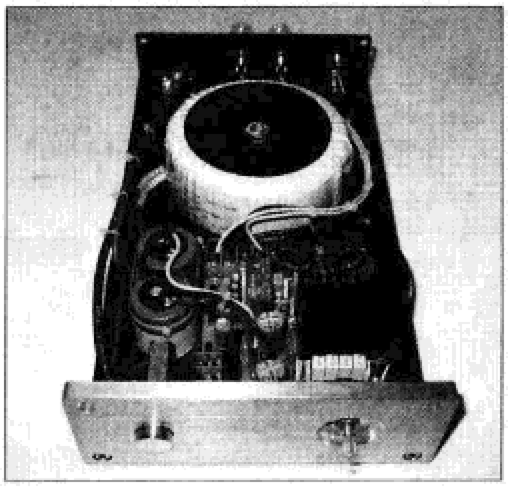


图10 完成总装的功放

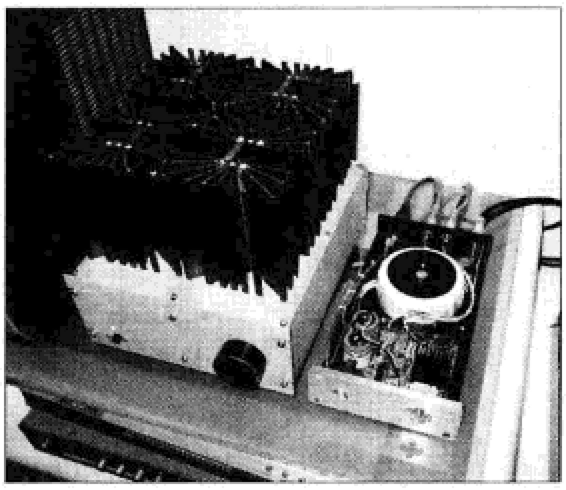


图11 试音现场

固定孔径都是3mm的，变压器的固定孔径为8mm。机箱内布局摆位见图6，PCB和电源开关的定位见图7。

焊接的时候笔者有些大意了，由于没有使用焊台，连防静电腕带都没有带，直接用了一个普通烙铁就开焊了，好在并没有造成严重后果，后面试机一切正常。但烧友们焊接时最好不要冒险，还是要充分注意防静电，实际上有不少烧友在焊接这个IC时出现问题。焊接TDA8920时，可以先用一个夹子把IC固定在PCB上，然后把对角的引脚先焊上，固定住IC，以免纤细的引脚发生错位给焊接带来麻烦。烙铁头最好是有一个小巧的平台，要使用优质焊锡，控制好烙铁停留的时间。笔者使用烙铁一次同时焊好三根引脚，整个IC全部焊完也就用了大概一分钟时间，焊接好的IC见图8。

搞定了焊接最难的IC后，剩下的就非常简单了。按照普通的焊接规则，先焊小后焊大，先焊低后焊高，就可以了。

值得一提的是，为了加强电源的供电，笔者没有按照原设计把主电容直接装于PCB上，因为板上的空间还是小了点，大容量的电解电容通常受高度限制，难以放进机箱中。所以笔者采用了板上焊接小电容，配合外接大电容的方式，使整机的主滤波电容容量超过7000μF，对付这样一台小功放是绰绰有余了。焊接完成的PCB见图9。

焊完PCB的元件，就可以进行总装了。把PCB固定到底板上，然后与前面板结合，进行总体的连线，总装连线见图10。

由于是低成本的入门机，线材没有采用补品，只是使用的是普通优质铜线。需要注意的是，线材的长度要取好，最好不要太长，以免在机箱狭小的空间内绕来绕去，既不美观也容易感应噪声。导线全部接好以后，最好用线扎捆绑固定一下，整个机器会显得更精致、美观。作为焊机的烧友，理应注重这些细节，使自己的每一件作品都干净利索，达到听音效果与观赏感的统一。

听音感受

整机装完后，接上电源，按下电源开关，蓝色的电源指示灯如约亮起，测量电源电压为±25V，测量的输出端电压分别有11mV和25mV的直流漂移，参数都很正常。接上音源和音箱，放进一盘《雨果发烧碟七》，第一首《惬意》的轻快曲调随即飘入耳中。对比测试使用的音源为金正DVD，音箱为惠威同轴音箱。参考功放为笔者以前制作的桌面小甲类功放，试音现场见图11。

从照片上可以看出，虽然参考功放本身体积不大(占用面积只有A4纸大小)，但本机明显又要小巧得多。开始试音，它的音色圆润自然，分析力很好，对于高音中的细节表现毫不费力，弹拨乐器的余韵表现生动、自然，动态表现力度充裕，远远超过了我的预期，很难相信这个小巧的机身也能爆发出如此强悍的能量。对于普通高保真听音要求而言足可胜任，数字功放的优势表现得淋漓尽致。因为效率极高(只有10%的无用功转化为热量)，一张CD放下来，机器只是温热，显得从容不迫。整机的信噪比也相当满意，耳朵贴近扬声器也几乎听不到一点杂声。

小结

电子技术的发展日新月异，放在10年前的话，这么小体积、低造价的功放想达到这样的声音表现是不可想象的，而如今却可以轻易地得以实现。严格来说，这个功放还算不上100%的数字功放，因为它仍然采用了传统的模拟电源。如果采用黄金搭档开关电源供电的话，整机的体积和重量还可以进一步缩减。通过这台小功放的实战，笔者更加肯定数字功放广阔美好的发展前景。相信数字功放会给越来越多的烧友带来焊机和声音的双重快乐！

高品质胆机电源变压器的设计与制作（下）

◎松贵年

高品质变压器除了有严谨的理论设计外，更要以精良的工艺品质作保证。本篇文章主要介绍变压器的制作工艺。

图3 转盘式绕线机

制作骨架和骨架芯

骨架采用厚度1.2mm、表面平整的胶木板制作，将胶木板严格按照设计的舌宽和叠厚尺寸裁剪，结合处用502胶粘接。铁芯舌宽4cm，叠厚7cm，骨架窗口宽取4.1cm，取值过大会浪费窗口面积，以硅钢片刚好能放入为最佳。相邻的硅钢片之间势必会有空隙，铁芯实际叠厚=理论叠厚/0.9，由此计算得7/0.9≈7.78cm，实际叠厚取8cm，骨架窗口长取8cm，见图1。骨架长度L应与舌长相等，L值大于舌长会使E片和I片之间产生空隙，使得铁芯磁阻增大，变压器效率会下降。

骨架是所有绕组的承载体，要求有一定的强度、良好的绝缘性能。它的制作严格依据铁芯尺寸，既要求硅钢片刚好能放入，又不能浪费宝贵的铁芯窗口面积。

骨架芯采用松木制作，见图2，按照铁芯舌宽、舌长、叠厚尺寸加工，沿舌长方向确定两端面中心点，穿过两中心点垂直打孔，孔口直径以刚好穿入绕线轴为准，穿入绕线机绕线轴，用紧固件将骨架心与绕线轴紧固在一起。如果打孔偏离中心点，绕线会出现跑线，排线比较困难。

绕线机

绕线机有数字显示和转盘显示2种，前者将匝数直接显示在显示屏上，操作直观方便。笔者使用转盘显示绕线机，见图3，虽然没有数字显示机读数方便，但这款产自上海的绕线机做工精良、操作顺手、耐用、数值准确。自从迷恋胆机制作以来，它已经默默陪伴我走过近20年的路程。

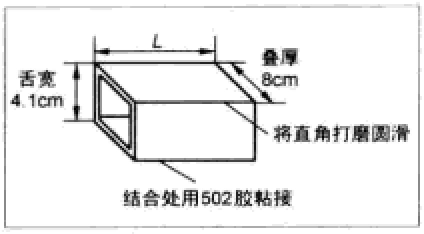


图1 变压器骨架制作

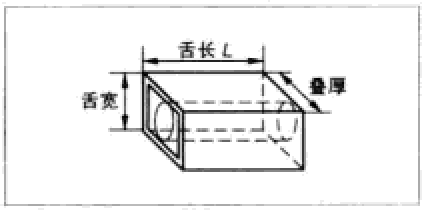


图2 制作骨架芯

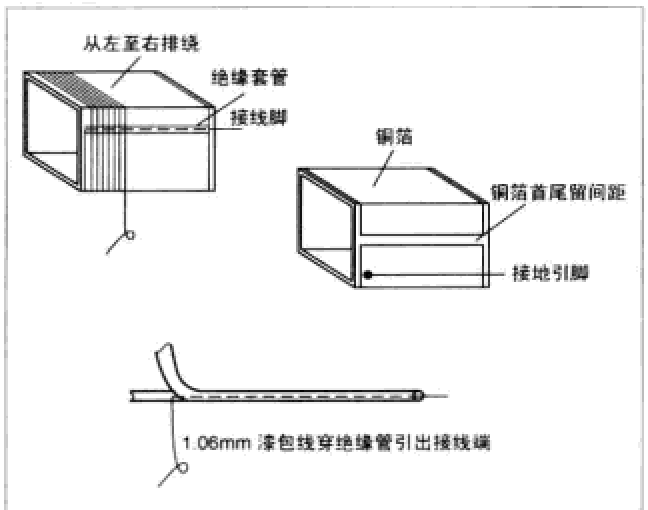


图4 绕组初始端及引脚

绕制初级绕组

将骨架和骨架芯套合在一起，紧固在绕线轴上，绝缘纸宽度按舌长L值裁剪。先用0.08mm绝缘纸做2层绝缘，然后做1层铜箔屏蔽层，铜箔屏蔽层首尾保持4mm间距，千万不能首尾搭接，否则会造成短路。取一段直径Φ1.06mm漆包线刮去绝缘层，一端与铜箔焊接，另一端作为接地引脚，焊点位置选择在铜箔左侧，以便线包绕制平整。取一段长度与舌长相等的绝缘管，放置在骨架舌宽面一侧，用502胶粘固，初级绕组漆包线穿过该绝缘管，预留足够的接线端，从骨架左端开始绕制。

根据理论设计，初级匝数为414匝，漆包线直径Φ1.06mm，线圈应平整紧密，不能有交叉。1.06mm漆包线较粗，排线较为困难，为使线圈平整紧密，绕线前将漆包线从线盘中抽出几十米，固定起始端将其拉直，再进行绕制。这样绕出的线包非常平整紧密。每绕一层需加一层0.08mm绝缘纸，将绝缘纸首尾相接的位置预留在舌宽端面，不能留在叠厚端面，否则会多占窗口面积。绕最后一层时，裁

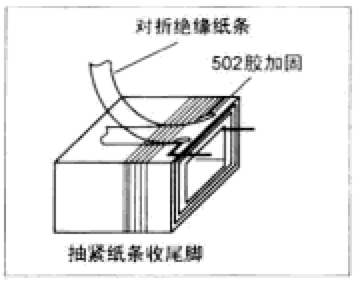


图5 用绝缘纸条收尾脚

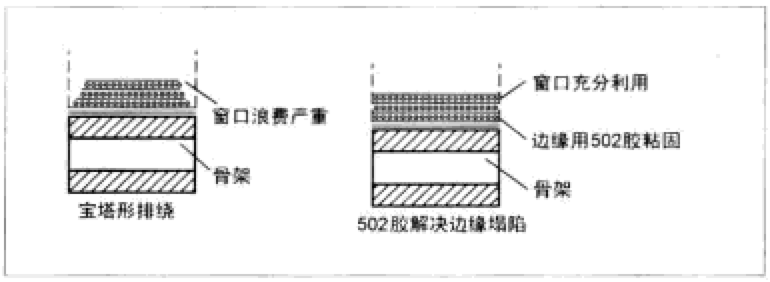


图6 边缘防塌陷措施

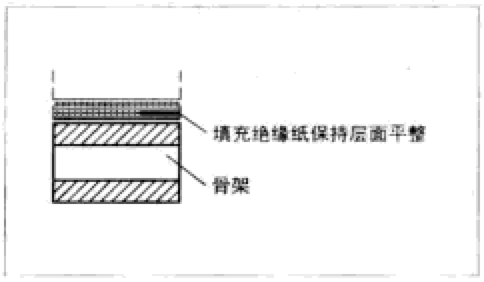


图7 层面平整、易于排线

取长5cm、宽1cm的聚酯薄膜纸一条，对折后放置在与起始脚同一侧，间隔1cm的位置，线圈压纸条绕线，最后一匝穿过绝缘纸条的对折孔，抽紧绝缘纸条紧固最后一匝线，用针尖蘸少许502胶，滴入纸条与末尾匝漆包线之间粘贴牢固，引出接线脚，见图5。

初级线圈接通220V、50Hz的电压，所有次级功率是由初级线圈通过电磁转换提供，初级线圈的电压高、电流大。为使电源能量充沛，如果窗口面积允许，尽量选用较大线径漆包线。绕完初级做4层0.08mm厚绝缘，再做一层铜箔屏蔽层，引出接地脚，屏蔽层首尾之间留4mm间距。这层屏蔽层夹绕于初次级绕组之间，它能切断初次级之间的电磁干扰，对于提高整机信噪比效果明显。没有铜箔的情况下，屏蔽层可以用直径Φ0.21mm~Φ0.32mm的漆包线紧密排绕一层，一端接地，另一端悬空，效果也很理想。

绕组边缘和平整度

绕制线圈应紧密排绕，不允许出现交叉，每层的线圈排列整齐，层面应平整。在实际绕制过程中会遇到边缘线圈塌陷的问题，尤其是绕制直径较粗的漆包线时更为严重。为解决边缘线圈塌陷问题，在过去常采用宝塔形绕制方式，见图6，它的匝数是逐层减少，在绕组层数较少的情况下这种方式是可行的，但在层数较多时，会严重浪费铁芯窗口面积。

在各种新产品日新月异的今天，绕制变压器的方法也有多种。为了充分利用宝贵的铁芯窗口面积，笔者采用502胶稳妥地解决了边缘线圈塌陷的问题。

当绕完每一层线圈，将每层的首匝和尾匝用502胶进行加固，漆包线围着骨架绕一圈之后，线圈在骨架上会形成4个直角，在每个直角处滴少许502胶固定，从首匝和尾匝的外边沿滴入502胶，使外边缘线圈与绝缘纸粘接牢固形成一整体，避免单匝线圈容易塌陷。这种方法简单实用，效果非常理想。尽量使用少量的502胶，以稳固外边缘几匝线圈为准，如果使用过多，会影响浸漆，使得绝缘漆不易浸入线圈，降低耐压性能。当绕组的最后一匝刚好落在骨架中间位置时，就会出现同一层面不平整的情况，将绝缘纸按未绕部分的宽度裁剪成长条，在未绕区域绕几匝绝缘纸，直到与漆包线层面平整为止，见图7。层面平整易于排线，线圈排列紧密、整齐。

高、中压绕组的绕制

高压和中压绕组漆包线直径分别为0.47mm和0.41mm。线径较小的漆包线在绕制时，排线相对比较容易。首先要做起始脚，选取直径为1.06mm，长度为比舌长长2cm的漆包线，两端刮去绝缘层，放入长度与舌长相等的绝缘管，将高压绕组漆包线在一端缠绕3匝，然后焊接，用502胶将绝缘管和接线脚定位在舌宽面，见图8。

绕线圈时，第一匝线圈位置一定要定位准确，否则绕线时会跑线，加大了操作难度。排绕时应把漆包线拉紧，掌握好适当的拉力，然后慢慢起步。起初的速度应放慢一点，注意漆包线的拉伸状况和排绕角度，等到逐渐有了手感，能熟练控制每匝线圈时，可以加快速度。眼睛也不必紧盯每一匝线圈，观察线圈的平整度及反光度，线匝自动会紧密排绕在一起，绕线速度也会很快。在绕高压和中压绕组的最后一层之前，先将收尾脚位置定位准确，做法与起始脚相同。最后一层应压在收尾脚上绕线，绕够匝数后将漆包线在收尾脚缠绕几匝并焊接。

灯丝绕组的绕制

由于胆管屏极电压很高，其适应的电压范围较宽、屏极电压在设计值的基础上允许稍有出入，线圈多绕几匝或少绕几匝都是允许的。胆管灯丝电压很低，有2.5V、6.3V、10V、12.6V等，这样灯丝绕组的线圈匝数较少，胆管灯丝电压的适应范围很窄，6.3V电压基本要求的供电范围在5.7~6.9V，超出该范围将会加快胆管衰老，缩短使用寿命。因此灯丝线圈匝数一定要谨慎，多1匝都会有可能超出胆管灯丝的安全供电范围。如果胆管灯丝电压恰当充足，胆机音质清澈丰满，胆味浓郁。笔者将6.3V电压线圈不厌其烦进行调整，最后将其调整为较高值6.8V。灯丝线圈的做法与初级线圈相同，5Z3P、813灯丝线圈采用双线并绕。这种做法的优势有两点：一是可以减少线圈内阻，提高供电能力；二是方便线圈排绕，保证制作工艺。5Z3P灯丝线圈承载两种电压，即交流5V电压和直流高压，对5Z3P灯丝线圈应加强绝缘措施，提高安全性能。

绕完所有绕组，在绕组外层做4层

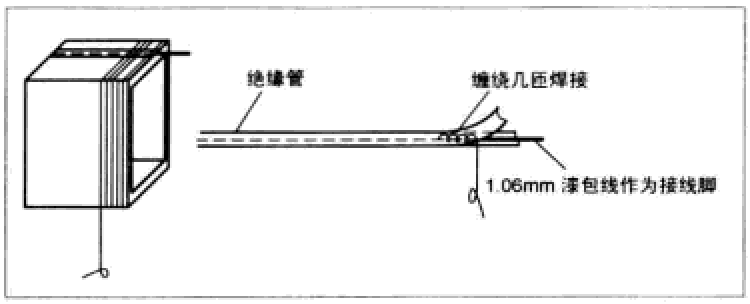


图8 高压中压绕组起始脚、收尾脚做法

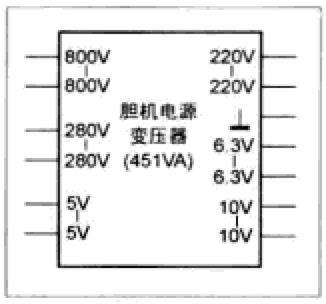


图9 电源变压器绕组接线脚

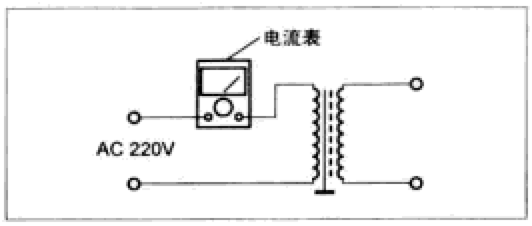


图10 精确测量空载电流的方法

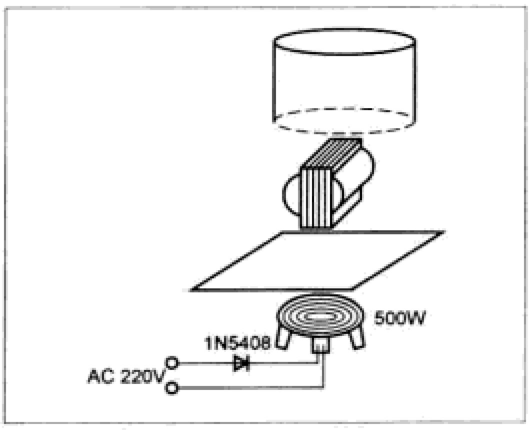


图11 变压器烘干

绝缘层再做1层屏蔽层，屏蔽层引出接地脚，3层屏蔽层的接地脚连接在一起共同接地。

变压器的安装与标识接线脚

胆机变压器有2种安装方式，即立式安装和卧式安装。20世纪60年代和70年代电子管盛行的时期，变压器以立式安装居多，上海无线电二十七厂生产的变压器大多为立式安装。目前，在HI-FI领域，为追求电路的最简化，缩短供电线路的长度，变压器都采用卧式安装。卧式安装变压器将绕组接线脚统一布置在铁芯的同一侧面，安装时在胆机壳上开孔，将布置有接线脚的线包沉入孔内，铁芯螺杆将变压器与机壳紧固。布置有接线脚的线包伸入机壳内，使得机内电路简洁，供电线路缩短，焊点减少，分布电容降低，电路损耗小，这些固有的优势将保证电路达到高保真的要求。

给接线脚注明电压、电流标识，使用起来会比较方便，见图9。笔者选用牛皮纸做线包的封皮，对齐接线脚位置将标识手工写上去。笔者绕制变压器从选料、设计、工艺各方面充满着发烧的理念，标识也不例外。在文体商店选购几套橡胶活字，有英文字母和阿拉伯数字，再用蓝色印泥将相关字符压印上去，这种压印的字符经过浸漆烘干后，字体非常清晰漂亮，给人以“专业制造”的感觉，与专业厂家产品相比较也毫不逊色。

装配铁芯

骨架的尺寸是充分考虑铁芯舌宽、舌长、叠厚之后确定下来的。因此，装配铁芯的工作应该是很顺利的。装配好的铁芯应平整，用螺栓紧固严密，片与片之间不能有空隙，同层的E片与I片应严密合缝，保证磁路的高效畅通。插片时一定要注意舌片不要发生舌偏，每一层的E片应与同层的I片对接。如果出现舌偏，发生舌偏的铁芯没有对接的I片，无论紧固螺栓拧得多么紧，芯片之间会出现微小的缝隙，导致铁芯磁通下降，导磁阻抗增大。变压器在通电工作时会发出“丝丝”的磁干扰声，这种情况与高保真的要求是背道而驰的。笔者在插片时，集中精力一片一片地对接，对装配的每一片都仔细审查，发现表面有附着物就耐心剔除，保证每片芯片平整且密封对接。

当铁芯装配比较紧，还没插紧片时，在铁芯窗口内铁芯与线包之间插入聚酯薄膜绝缘纸条，将整个铁芯放置在平整的木板上，用木块和锤头将所有铁芯敲击平整。装配紧片时，应将两片E形芯片叠合在一起装入，在线包的另一端对应位置装配相等数量的I片，完成闭合的磁回路，装配紧片直到插片非常困难时才停止装片。铁芯全部装配完成后，进行最后一次平整度敲击，细细敲击芯片的各个部位，使外观平整美观，接缝严密结合，然后将紧固螺栓旋紧。

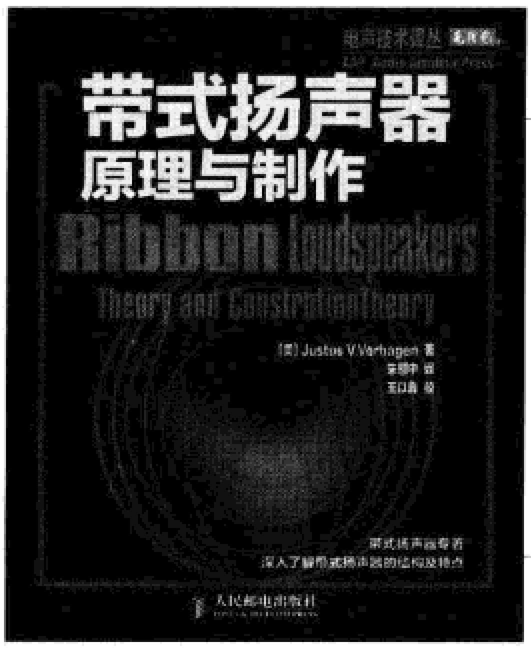
指标测试

测试表用精度较高的数字式万用表，先测试市电电压是否为220V。如果市电电压偏离220V，要用调压器将电压调整到220V。初级接通220V电压，分别测试各绕组电压，高压在810V左右，中压在285V左右，813灯丝电压在12V左右，6N11电压在7V左右，5Z3P电压在5.7V左右。如果灯丝电压超出极限或低于正常值，应将线圈匝数进行调整，直到符合设计要求。

高品质的电源变压器其自身的耗电是很少的，即空载电流很小，有一种粗略判断变压器自身耗电大小的方法。在各次级线包开路的情况下，初级串入一只15W普通白炽灯再接入220V交流市电，灯泡应不发亮，或仅微弱发红，说明空载电流值在合理范围内。一种精确测量空载电流的方法见图10，将次级空载，初级串入电流表，接通220V电源，电流表所指的值即为空载电流，这里的电流表使用数字电流表会更精确一些，指针式电流表数值略显粗糙。变压器的空载电流越小，其效率会越高，品质会更卓越，高品质的电源变压器空载电流一般控制在满载电流的6%以内。空载电流大，漏磁严重，变压器会嗡嗡作响，影响周边电路的正常工作。

空载电流大的原因有以下几种可能。

1. 初级绕组匝数不够。硅钢片B值，



带式扬声器原理与制作

内容提要

本书从电磁学及声学的基础知识和基本原理入手，详细的介绍了带式扬声器的结构、工作原理及音质特点等。对扬声器换能过程进行了等效电路分析。对扬声器的号筒设计也进行了详尽的描述。文中阐述了生产制作带式扬声器的过程及工艺规范，并且介绍了许多实际应用的产品。最后还列出了有关带式扬声器的各种专利文献及参考资料。对于从事扬声器设计、制作和经营的人员，厅堂场馆音响的人员，大专院校音响专业师生具有实用参考及指导价值.

定价：49.00元　　ISBN:978-7-115-21107-1
全国各地书店及当当、卓越等网上书店有售。

只能估算，其取值一定要谨慎，应当取一定的保守值，不宜较大。笔者一般选用的取值也不过是1T（T为特斯拉），取值过高初级线圈匝数会减少。如果硅钢片实际B值达不到估计值，初级线圈感抗较小，空载电流势必会增大。

2. 绕组内部有短路。初级线圈内部如果有短路现象，线圈感抗会下降，空载电流也会增大。

3. 静电屏蔽层短路。铜箔静电屏蔽层短路，初级回路的空载电流很大，保险管会在通电的瞬间熔断。

4. 硅钢片导磁率差。导磁率较差的硅钢片用增加线圈匝数的办法降低空载电流，铁芯的磁滞现象也很严重，铁芯发热厉害。这种导磁率差的铁芯不仅浪费漆包线，而且变压器各项指标也不理想。

因此，选用高导磁率的铁芯、保守选取铁芯B值，是成功制作高品质电源变压器关键性的第一步，这一步把握不到位，后面的工艺无论做的多么完美，都无济于事。

变压器次级各绕组输出电压符合指标，空载电流控制在合理范围之内，各项参数都能达到设计要求，变压器的设计制作工序基本完成。应将变压器投入电路试用，测试各绕组在带负载情况下的电压值，是否满足电路的需要，发现问题及时修正，主要是灯丝电压值是否满足要求。

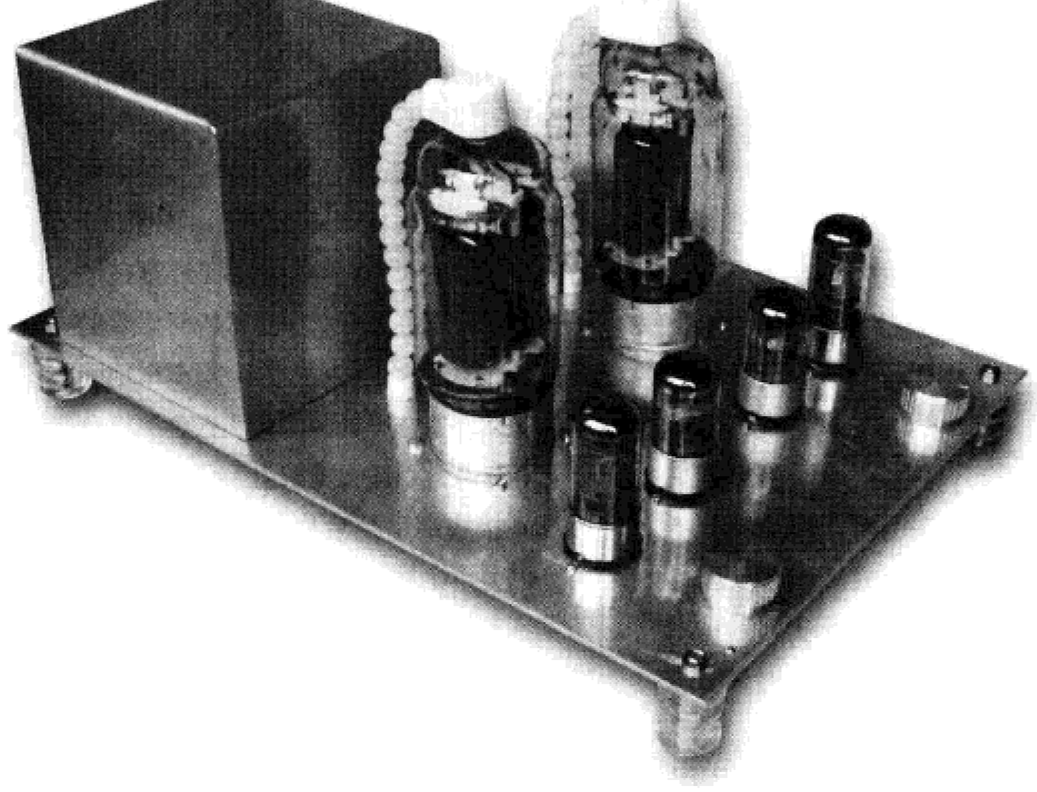
浸绝缘漆和烘干

变压器浸漆主要是提高绝缘性能，抗氧化性，延长使用寿命。绝缘漆能附着在漆包线和铁芯表面，经过烘干以后能形成坚固的绝缘保护层，经过漫漫岁月的考验，漆包线绝缘膜依然完好无损，铁芯依旧光亮如新。目前市面上有许多20世纪60年代和70年代生产的优质变压器，经过细致浸漆处理的产品，其铁芯基本都是崭新的，没有丝毫的锈蚀痕迹。其次，变压器浸漆能减少硅钢片因电磁作用产生振动，减小变压器的自身噪声。绝缘漆能渗入到线圈之间的夹缝内，硅钢片之间的微小缝隙内，等烘干之后，这些渗入缝隙的绝缘漆附着力强，而且相当坚固，能将产生轻微振动的铁芯和线圈固定，降低变压器的工作噪声。

变压器浸漆之前应将其烘干，将残留在线圈和铁芯里的水分去除。在500W电炉盘上方5cm处，用支架放置一块1mm厚，边长为20mm的正方形铁板，将变压器放置在铁板上面，电炉回路中串一支1N5408整流二极管，接通220V交流市电，加热铁板使变压器受热，将变压器和电炉用一只铁桶罩起来集中热量，充分加热，见图11。

为了将绝缘清漆充分渗入，笔者采用真空浸漆法。将烘干的变压器放置于压力锅内，再将绝缘清漆倒入压力锅内，使变压器淹没于绝缘清漆中，绝缘漆渗入变压器会放出很多气泡，放置大约30分钟，等没有气泡溢出时，封合压力锅盖，从出气阀处用真空泵抽去压力锅内的空气，绝缘清漆在外界大气压力作用下，会迅速浸透整个线包和铁芯中的微小缝隙。真空泵连续抽空2小时，然后将变压器取出淋干，烘烤至绝缘漆能够定形，不粘手指为止。再次浸入压力锅内，连续抽空2小时取出淋干，最后彻底烘干。

烘干后的变压器表面整洁光滑，绝缘漆如同一层透明坚固的保护膜，手感顺滑光亮，绕组封皮的字迹清晰美观。整体外观庄重大方，感觉非常专业。面对这种精心设计、精工制作的高品质变压器，任何担心和怀疑都是多余的，它的卓越性能和精良工艺，会激发更多喜爱胆机音色的发烧友自行设计和制作电源变压器的信心，向更高的发烧境界执著迈进。



◎松贵年

813的构造及音频应用电路

在琳琅满目的电子管产品中，起初很多电子管是应用于高频信号发射领域，后来富有创新思维的发烧友将其合理地应用在高保真发烧音响领域。通过综合权衡各种利弊，取优舍次，充分利用最佳的线性区域，选择最有音乐表现力的静态工作点，使其音乐潜质得以最大发挥。这些产品不但质量优良，性能可靠，而且音质甜美，音乐味浓郁。

813最早应用于美国军用通信设备，与国产FU-13的性能和参数相当。它在早期的中波广播发射设备中承担高频前置放大的重任。813胆管是典型应用于高保真发烧音响领域的大功率胆管之一，应用它打造的单端甲类功放，高频清澈明亮，中低频甜美而富有质感，音乐信息丰富，细节再现丝丝入扣，声场表现宏大磅礴，震撼心弦，仿佛使人有亲临现场之感。813原本是为高频电路所设计，其高频的表现是毋庸置疑的，能将高频细节刻画得无所挑剔，清澈明亮的中高频，仿佛使人置身于蓝天白云、绿色大草原之中，心情格外舒畅。即便在昏暗阴沉的雨天，813所表现出的清亮翡翠般的音质使人心情明亮舒畅，豁然开朗。

对于现代胆机，发烧友的审美思路早已突破简单且略显呆板的金属机壳，而是将其外观赋予艺术化的设计，精致美观的牛罩与外置式胆管浑然一体，如同一件精美的工艺品，将艺术性与天籁之音完美结合，给人带来无穷的乐趣。813 外观壮实，结构坚固可靠，给人踏实放心的感觉，工作时灯火辉煌，威武雄壮的景象，令人振奋精神，给人视觉和听觉的双重享受。

813是大功率直热式束射四极管，其特点是内阻高，放大倍数高，输出功率大，与大功率直热式三极管845、211等相比更容易推动。在同等屏极功耗情况下，输出功率比大功率三极管大几倍。美中不足的是，由于帘栅极的隔离作用和集束屏集中电子束的作用，使得813输出曲线线性稍差，失真以奇次谐波为主。

图1 曙光生产的813胆管

图2 813石墨屏极

在百花争艳、奇葩异放的高保真音响领域， 虽然813的音质表现稍逊于直热式大功率三极管，但它具有声场宏大、气势磅礴、胆味浓郁等特点，使其在发烧领域仍占有一席之地，深受发烧友喜爱，被授予“一鸣惊人”的美誉。

813胆管的构造

1. 外形

813采用玻璃封装形式，见图1，胆管顶部设有高压接线端，底部是将管脚与管体连接在一起的铝制管座。其封装玻璃最大直径为65mm，总高度为191mm。由于813灯丝电流高达5A，灯丝发热量巨大，813的玻璃封装形式采取相应保护措施，工作时胆管顶部会集中大量的热量，为防止过热破裂，顶部玻璃厚度较薄，底部因支撑813内部构造，热量相对较少，底部玻璃厚度较厚。玻璃体与铝制管座紧密连接在一起，使整个管身坚固耐用。由于813内部构造较为复杂，阳极供电为1~2kV的直流高压，阳极电压由其顶部的高压供电端引入，使内部各个电极处于相对安全的距离，杜绝出现高压打火等现象，使工作性能安全可靠。

2. 石墨屏极

去除玻璃封装，在内部构造中，最外层是屏极，见图2。灰黑色桶状结构就是813的屏极，它由耐高温的石墨材料制成。外形根据阴极的形状将阴极包围起来，从四周吸收阴极发射出来的电子，上千伏的直流高压加在屏极，在阴极与屏极之间形成高压电场，使阴极发射的电子高速飞向屏极。阴极与屏极之间的直线间距决定屏极提供的最高电压，813屏极最高电压为2000V，超过极限电压，它将处于不安全的工作状态，电极之间会出现打火，阴极加速衰老。813的阳极耗散功率参数为100W，工作时不能超过这个极限值。计算功率的公式为：

P（屏极功率）= U（屏压）×I（屏流）

如果屏压取值为1000V，屏流最高取值100mA，从813的输出曲线图可以看出，屏压1000V时，屏流可在85~95mA之间取值，工作点在线性区域内，工作状态安全可靠。如果屏流超过100mA，石墨屏极会因电流过大而发红，结果加剧胆管老化，甚至烧毁。屏极电流大，音质耐听，胆味浓郁，发烧友为追求胆味浓郁的音质，将屏流调整接近极限值。在黑暗的灯光下，关闭电源观察813屏极，略显淡红色，效果极佳。

屏极的上、下两端为白色瓷质支架，见图3，在高温下不易变形，它就是一个固定盘，用它固定阴极、第一栅极、第二栅极、集束屏支架的位置。顶部两只小弹簧的作用是拉紧灯丝，见图4，新的813胆管小弹簧是被压缩的，灯丝被拉得很紧。如果发现小弹簧已伸长，说明813已工作较长时间，灯丝在高温下逐渐被拉长，这也是判断一只813胆管新旧程度的简便方法。813集束屏的固定脚牢牢地固定在支架盘上，屏极两侧由两根金属杆自上而下穿过，固定在支架盘上，直流高压由高压接线端引至金属杆，导入石墨屏极。也有用金属材料做屏极的813胆管，即发烧友常说的铁屏813，但这种胆管不常见，音乐效果清脆明亮，中频甜美悦耳，音质较石墨屏极更胜一筹。

3. 集束屏

去掉顶部的固定架和石墨屏极，是金属集束屏，见图5，它的作用是将阴极向四周发射的电子束集中起来射向屏极，这样可以增大屏极电流，从而提高813输出功率。集束屏与阴极连接，也起到隔离作用，减少二次电子负阻效应的干扰。

在过去只追求大功率，不注重音质的20世纪70年代和80年代，集束屏的引入不失为一种增大功率的好办法。然而，目前发烧友所追求的是优异的音质表现和音乐韵味，不刻意追求大功率，输出功率30W左右对于胆机发烧友已经足够了。集束屏对音质的影响较大，失真明显，音乐表现没有直热式三极管那样清澈甜美，醇

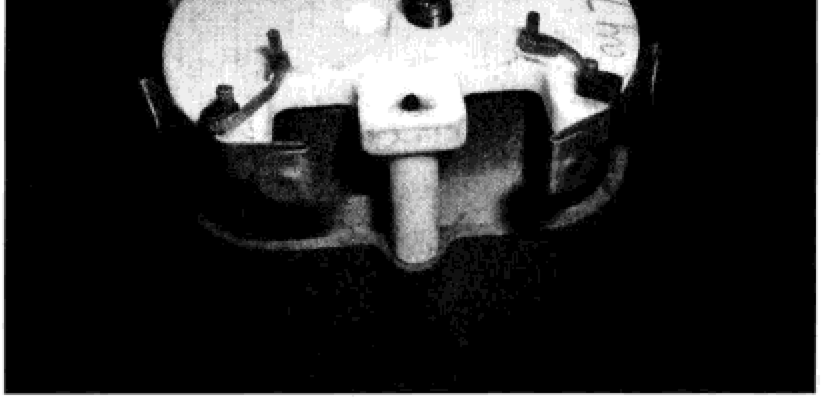


图3 白色瓷质支架

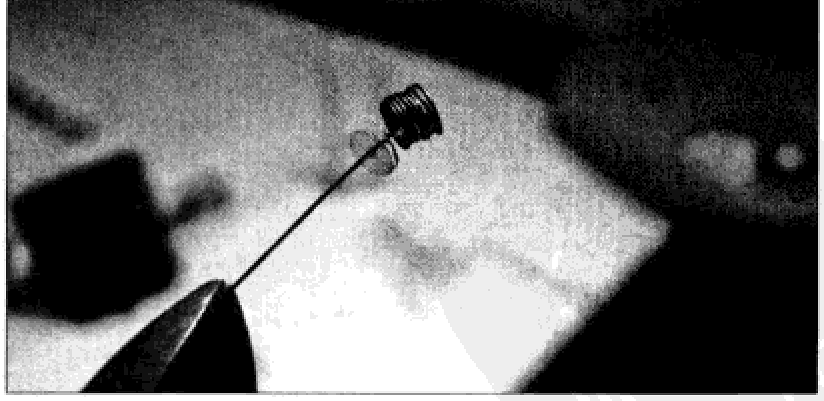


图4 阴极弹簧

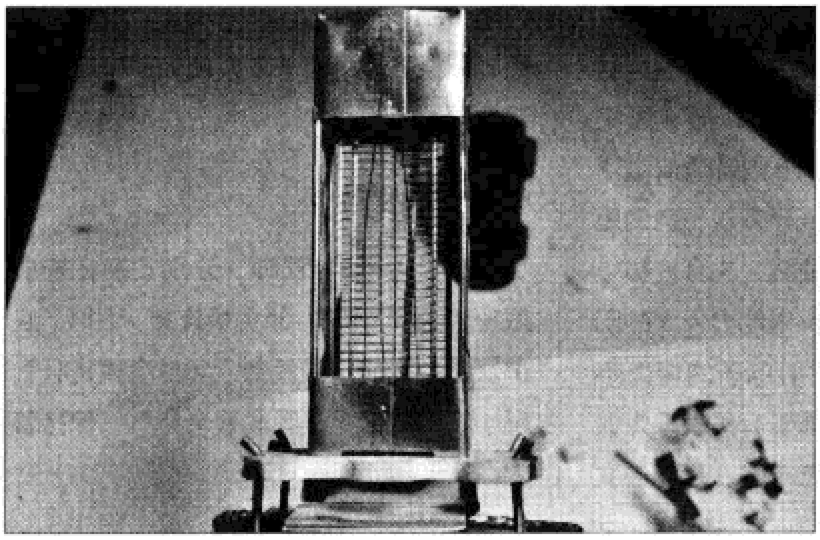


图5 集束屏

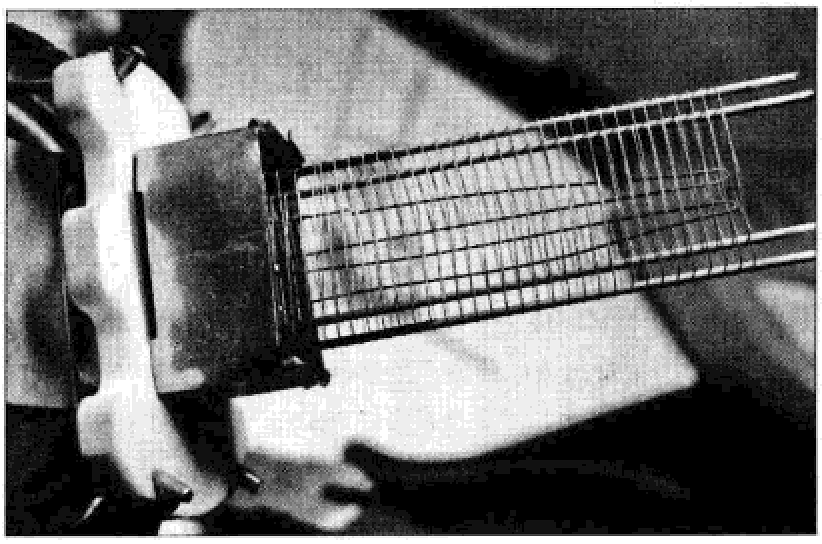


图6 栅极和帘栅极

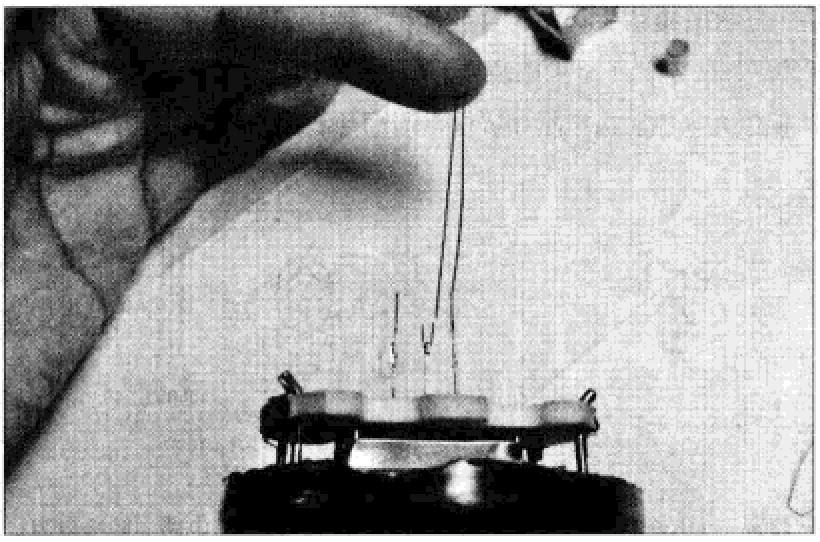


图7 灯丝和阴极复合在一体

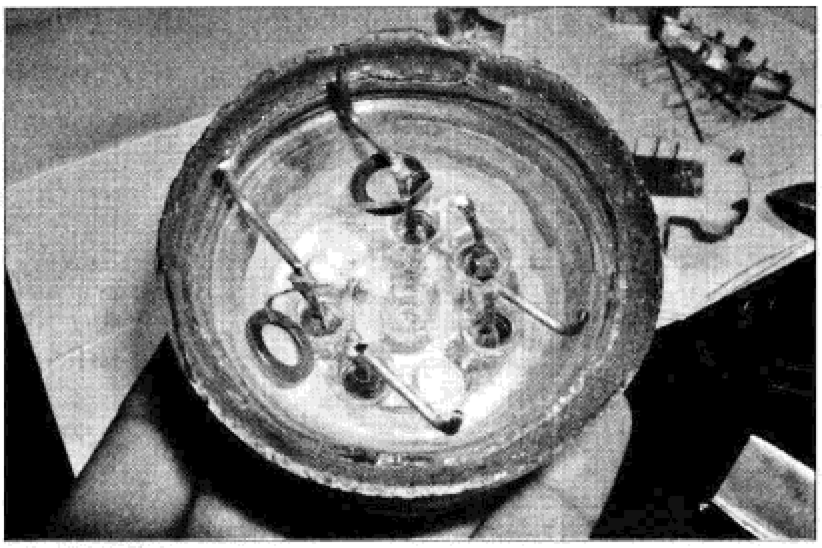


图8 管座和管脚

厚丰满。听惯了直热式三极管的发烧友，甚至于将813排除在高保真的行列。但是，813虎啸雷鸣般的声场表现和潺潺溪水般的细节再现，深深打动着众多发烧友的心田。

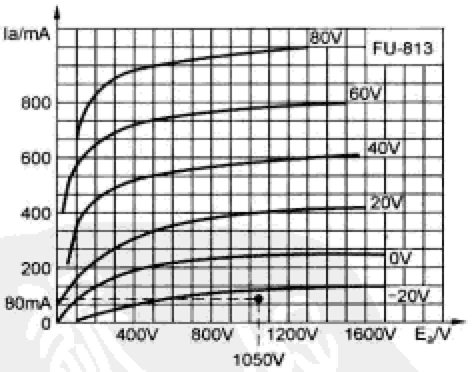
4. 栅极和帘栅极

栅极和帘栅极都是金属网状结构，见图6，细丝状的金属栅极均匀地绕在金属支架杆上，外层是帘栅极，内层为栅极。栅极相对于阴极是低电位，改变栅极电压，可以改变屏极电流。栅极电压的微弱变化，可以使813屏极电流发生毫安级的变化，这是胆管放大原理的精髓。帘栅极加正电压，主要目的是加速阴极电子飞往屏极的速度，将屏极与阴极有效隔离。为减小帘栅极消耗的功率，外层帘栅极的

813胆管工作参数

表1 813的基本应用数据

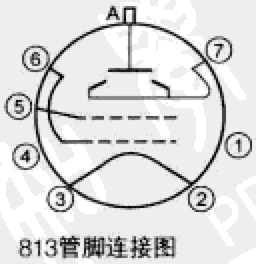
名称	参数	名称	参数
灯丝电压	10V	灯丝电流	5A
阳极电压	2000V	阳极电流	50mA
第一栅极电压	100V	第二栅极电压	400V
输出功率	100W	跨 导	4mA/V
极间电阻	20MΩ		



813输出特性曲线图

表2 813的极限应用数据

名称	参数	名称	参数
灯丝电压	9~10.5V	最大阳极电压	2000V
最大第二栅极电压	400V	最大阳极耗散功率	100W
最大第二栅极功率	22W	最高工作频率	30MHz
输入电容	16pF	输出电容	14pF
过渡电容	20pF		



813管脚连接图

金属细丝严格与内层的栅极金属细丝对齐，间隔大小相等，减少阴极电子飞往屏极过程中的损耗。

5. 阴极和灯丝

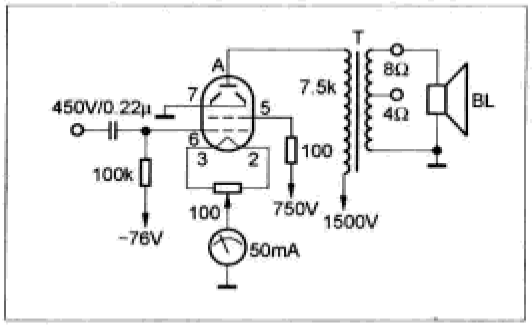
813的灯丝和阴极是复合在一起的，是由金属钍钨材料制成。阴极形状为细丝状，见图7，很难想象如此细小的丝状阴极发射出去的电子束，声场竟然虎啸雷鸣般宏大，令人叹服！灯丝电压为10V，电流为5A，813灯丝点燃起来，是一幅灯火辉煌、炫丽壮观的景象。高达5A的灯丝电流、使阴极得到充分加热，形成密集的电子流射向屏极，这是813音质清澈活跃、甜美动人的原因之一。音质出色的胆管首先拥有优良的输出曲线，失真度极小的线性区域。其次要有发射能力强大的阴极，不同的阴极材料发射电子的能力不同，阴极发射电子能力强，音乐表现为谐波丰富、平衡自然、听感丰满、声场层次分明。813充足的灯丝电流使阴极充分受热，阴极强大的电子发射能力使其音乐表现非同一般。

6. 管座和管脚

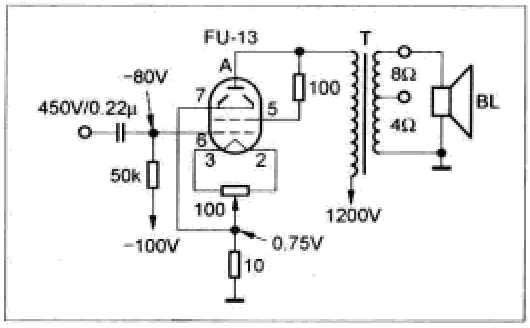
813共有7个管脚，分别安装在瓷质底座上，引脚与内部各极连接见图8。底部灰黑色物质是吸气剂，环形金属是吸气环，它们的作用是吸收残余空气，保持管内真空度。

813胆管音频应用电路

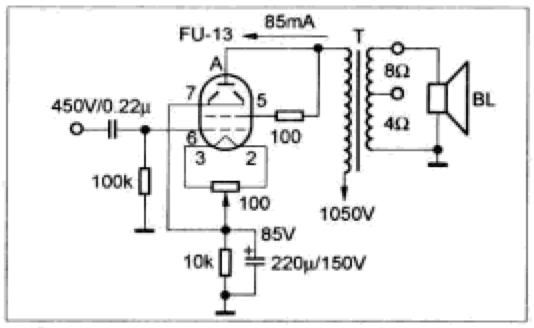
813单端甲类放大电路按电路形式可分为四极管接法和三极管接法，三极管接法失真小，音质优美。四极管接法输出曲线失真较大，但输出功率强劲。按静态工作点偏置电路方式可分为固定偏压和自偏压，固定偏压是由电源专门给813栅极提供负偏压，偏压大小由电源回路调节。自偏压是由813阴极电阻和屏极电流产生的电压提供，偏压大小由阴极电阻和屏极电流相互制约调节。



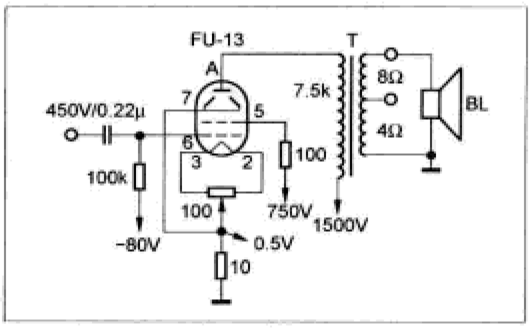
此电路是813胆管四极管接法，采用固定偏置电压，第二栅极接地，阴极串连一只毫安级指针电流表，准确显示阳极电流，方便调试静态工作电流。



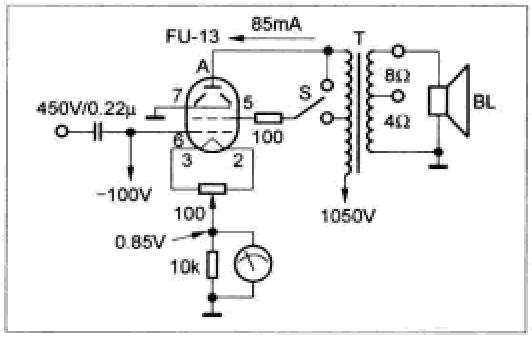
此电路是三极管接法，固定偏置，813静态工作点选取在屏压1200V，屏流75mA，静态工作点不同，音质表现不同。高电压、小电流状态下，高音明亮，中频甜美。低电压、大电流状态下，低音醇厚，中频甜美富有质感，音乐味浓郁。



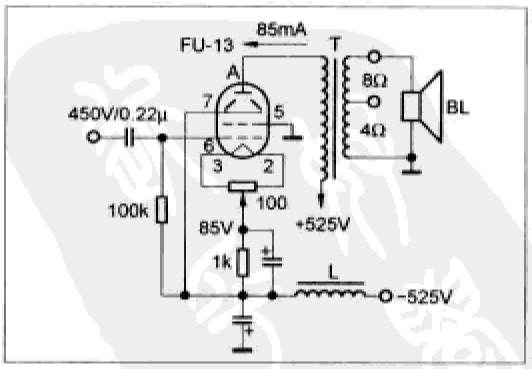
此电路三极管接法，自偏压电路，阴极电阻提供偏置电压，阴极电阻选用大功率水泥电阻，阴极电阻并接一只旁路电容。该电路没有任何负反馈，旁路电容选用油浸电容效果更佳，听感粗犷豪爽，音质优美，声场宏大。由于813栅极采用自偏压供电，电源电路省去了栅偏压回路，电路相对简单。



此电路是四极管接法，固定偏置，阴极串接一只10Ω电阻，该电阻两端的电压与阻值的比就是813的阳极电流。阴极电阻要求是大功率的水泥电阻，该电阻引入少量的本级电流负反馈，改善音质表现。该电路是高电压小电流的工作状态，这种工作状态的音质清澈通透，中高频的表现非常出色。固定偏压电路切记一定要将栅极电路焊接牢靠，一旦栅极发生开路，屏极电流会陡然增大，会使阳极过热发红，甚至烧毁。



此电路中设置有一个开关，通过它可以选择三极管接法与四极管接法，三极管接法是将帘栅极通过一个100Ω电阻与屏极连接，四极管接法是将帘栅极与输出变压器中的抽头连接。这种电路的优点是通过转换开关可以享受两种不同电路的音质表现。阴极电阻两端并接一只电压表，通过电压表值调整屏极电流大小。



此电路是资深发烧友大胆且创新的接法。该电路采用正、负电源供电，降低输出变压器绝缘等级要求，提高操作者的人身安全，通过输出变压器的高压为525V，比起上千伏的直流高压安全可靠，813屏极和阴极之间电压仍为1050V，屏流85mA。帘栅极为四极管接法，有效降低二次电子干扰，输出效果更趋于优良。由于是双电源供电，多一路滤波电路，该电路安全可靠，是值得尝试的。

FU-32 胆机制作

◎林召春

许多原来用于高频功率放大的电子管，被发烧友用于音频功率放大后大放异彩。正好笔者手中有几只军用强放管FU-32，想试试效果如何，于是在原先制作的6P3P单端胆机机壳和变压器的基础上，笔者设计了该FU-32单端胆机，听音表现更加强劲、有力度，人声表现也丝毫不逊于6P3P功放。

元件选取

机壳选用的是从淘宝网购得的通用胆机壳，电源变压器及输出变压器用的是6P3P单端功放的变压器。自己动手做机壳或者绕制变压器都是很复杂的事情。管座是军用磁座，FU-32阳极帽也是从淘宝网购得，其他配件在当地电子市场购得。

电源滤波电容选用KMH铝电解电容，其中220μF/450V滤波电容，见图1，笔者采用了两个470μF/250V直径达50mm的CD271型专用滤波电容串联而成。0.1μF电容采用的是CBB电容，阴极电阻上并联的旁路电容为钽电解电容。每路只有一个耦合电容，为的是保证频响范围，该电容采用的是CZJ军品电容，效果极佳。电阻均采用大于1W的五环金属膜电阻（或大红袍）。连接线用的是耐高温镀银导线（电子市场有售），音量电位计用的是ALPS专用电位计。

电子管为J级品，有条件的可以先用电子管测试仪进行一下筛选，见图2。管子性能应合格，且不漏气，极间无漏电，左右声道所用的管子阳流、跨导尽可能相等或相近，以保证左右声道音量一致。如没有电子管测试仪，也可以在接上灯丝电源后，用万能表测试，或者电路焊接无误后，在无信号的情况下测量阴极对地电压，两路管子电压应一致。

电路原理

前级采用中μ值的6N7P（μ＝35±5），目的就是不加负反馈，以保证放大器有足够的动态范围。两级放大均采用双管并联，电路为标准接法。由于FU-32双管并联工作电流与6P3P单管相当，所以，电源及输出变压器可以通用，为减小电源内阻，整流增加了两个二极管，而将5Z4P改成并联后的单管。胆机电路

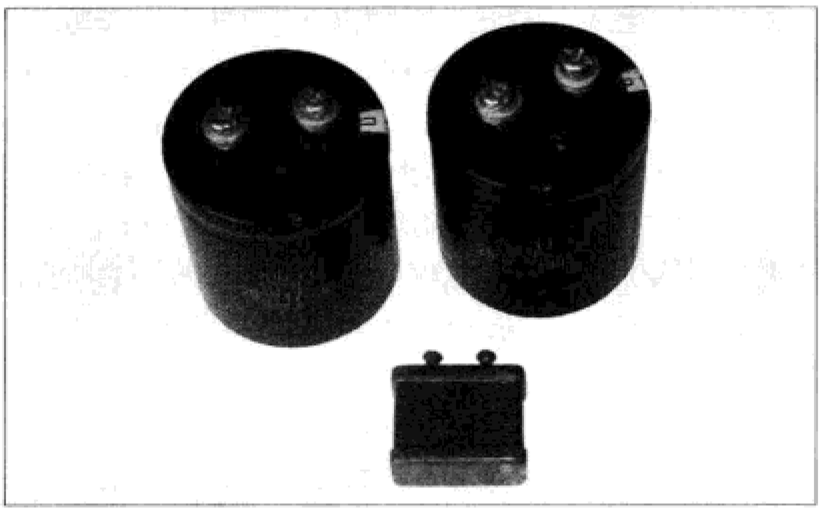


图1 滤波电容

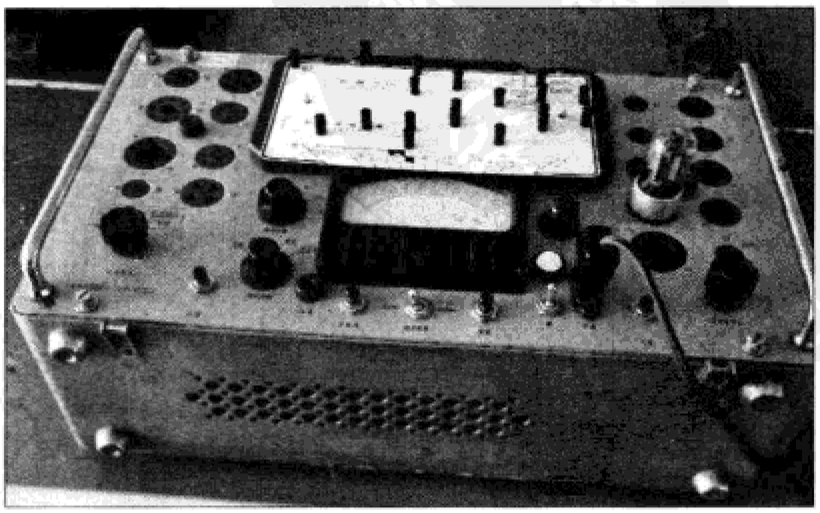


图2 电子管测试仪

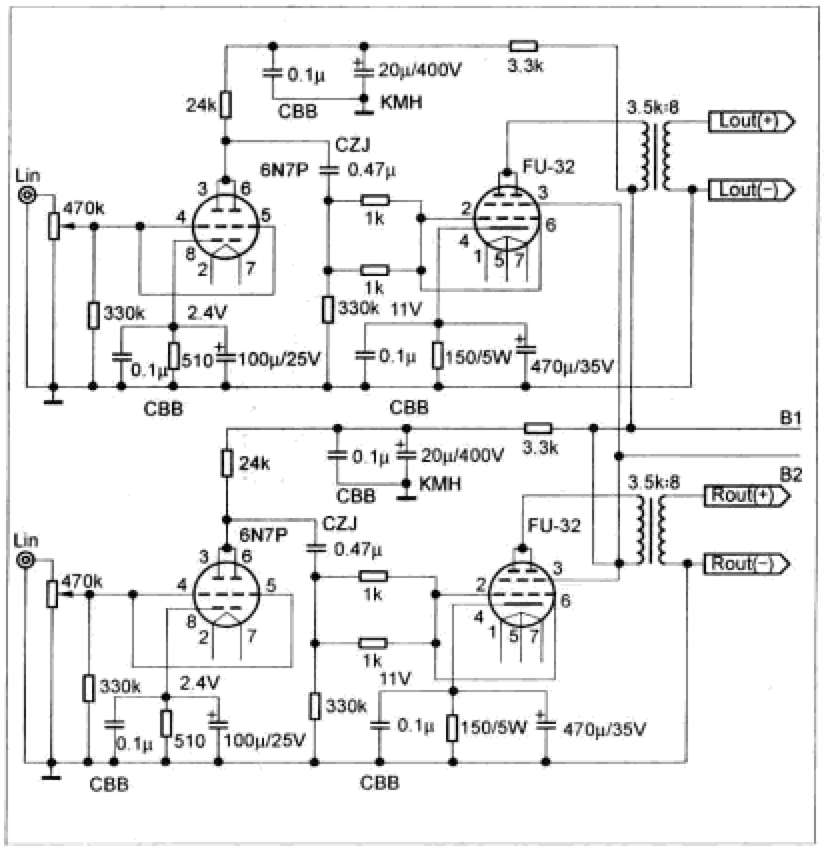


图3 胆机电路原理图

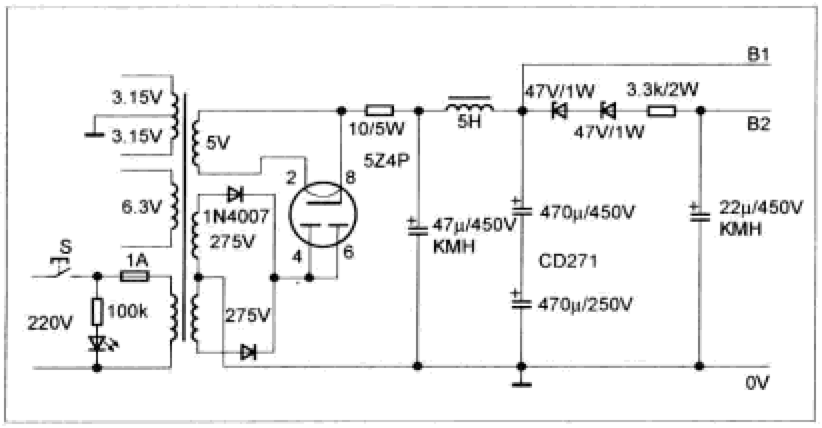


图4 胆机电源电路原理图

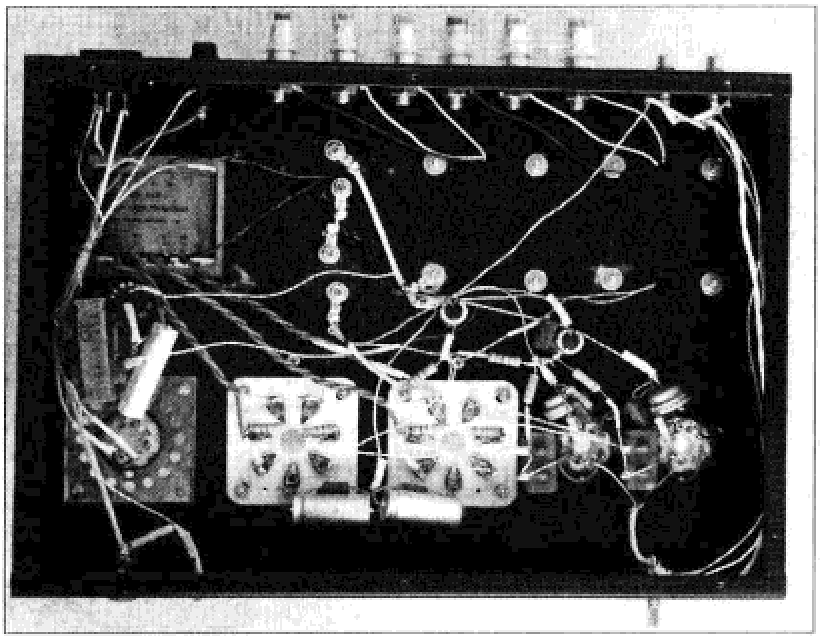


图5 焊接完成的示意图

原理见图3，电源电路原理见图4。

焊接与调试

采取一点接地的方式，输入端至6N7P栅极间用屏蔽线且单端接地。该电源变压器灯丝输出有3种，其中一组5V输入到整流管灯丝，其他为6.3V，其中一组有中间抽头，用于给6N7P供灯丝电压，中间抽头接地。没有中间抽头的一组给FU-32灯丝供电，灯丝供电采用双绞线并尽量远离信号线，和信号线保持一定的角度（避免与信号线平行）。输出变压器注意同名端，左、右声道相位应一致，不然会影响听音效果。阻容元件采用在管座脚上搭棚焊接的方式，虽然不是很美观，但不影响后期音乐效果。焊接完成后，检查无误就可以加电，注意两路管子阴极对地电压应相同或接近，如果相差太大，则可能是管子性能差异过大，或某一个管子已损坏所致，应认真检查，排除故障后方可向下进行。

将CD和音箱连接好，先不开CD电源，只将胆机电源打开，并逐渐将音量增大，检查是不是会出现自激、交流声或噪声明显等问题，引起的原因可能就是布线不合理、存在虚焊或没有按要求集中一点接地。笔者的胆机将音量开至最大，耳朵贴在音箱上也几乎听不到噪声。为保证放音效果，应配一对灵敏度大于90dB的Hi-Fi音箱，最好不要用家用多媒体音箱。

经以上检查，无误后，便可进行试音和细调了，先将FU-32阴极电阻换成电位器，调整至150Ω左右，边听边调，直到声音最佳，换上同值固定电阻即可。如将几个不同阻值的电阻通过波段开关控制，则可满足不同音源和不同风格的爱好者。注意，如果音箱为新品，调试时不要一下子把音量开得太大，最好煲一段时间之后再测试最大音量。整机调试到此便告一段落。由于管子性能要在工作一定时间后方可稳定，所以在胆机工作一段时间后，还要对管子进行再检查。

听音效果及感想

低音表现强劲、有力度，相当有霸气，高音明亮、清澈。一首蔡琴的《渡口》，开始的几声鼓音如同闷雷一般，声场相当霸气，爆棚效果十足。换一首《烟花三月》，伴奏的古筝丝弦颤动以及与指尖的摩擦，还有歌者的换气声都清晰可闻，当你微闭双眼去聆听时，仿佛歌者就在你的对面。自从有了这部胆机，笔者几乎每天都要放一张爱听的CD，在音乐声中入睡。现在尽管是炎炎夏日，但有沁人心脾的音乐相伴入眠，给夏日的夜晚带来丝丝凉爽（心静自然凉）！

发烧是无止境的。只要适合你就好，毕竟每个人的文化素养、经济条件各不相同。也不要被一些烧友的赞誉之词引入歧途，适可而止，自己听着舒服就行了。

试听派扬HiFi-4书架式音箱

◎独幽

不知从何时开始，普罗发烧友们有了一种感叹：随着物价的上涨，Hi-Fi产品的价格也开始大幅攀升，这其中尤以进口知名品牌的Hi-Fi音响产品最为明显。曾几何时，大家用一两万元已经能够组建一套不错的音响系统了，而如今仅一对上档次的进口名牌音箱动辄就要几万元，而几十万、上百万的天价产品也不在少数，面对Hi-Fi产品高昂的售价，很多发烧友只能望洋兴叹，感慨这一曾经的大众消费品开始向奢侈品的方向发展了。

其实一直以来，中国本土的音响品牌一直在Hi-Fi的道路上孜孜以求，不断进取，他们推出的音响产品做工精良、用料扎实、声音品质出色，最关键的是在价格上较进口知名品牌的产品要廉宜不少，成为众多追求性价比的工薪一族发烧友的上佳之选。

近期，我们接触到了一款由深圳中大音响出品的派扬 HiFi-4 书架式音箱，该音箱制作严谨、用料扎实、售价相当克己，只有不到千元，而以声论价，物超所值。

做工与用料

从外观来看，派扬HiFi-4是一款典型的两路两分频书架式音箱，该箱的外形中规中矩，但在四平八稳的立方体之上又增添了一点变化，就是将音箱的前障板设计为后倾式，此设计在多家品牌的产品中都有应用，主要目的是为了让高音单元与低音单元不在同一水平面，通过物理的位差来校正声音的延迟，令声波能够更加同步地到达人耳。当然，这种设计也令箱体更加美观。

该箱采用厚约3cm的中密度板（MDF）来制作箱体，根据厂家资料介绍，在最新的改良版本上，箱体内部加设了“工”字型的加强筋，保证箱体有足够的刚性，避免产生不必要的谐振，影响音质。外观处理方面，该箱采用了原木贴皮，仔细观察之下，贴服紧密，无气泡和毛边，边角处的衔接也非常自然，这种做工在此价位的音箱中算是非常难得的。在外观的配色方面，厂家考虑到不同家居的需求，提供了酸枝原木皮、胡桃木皮及樱桃木皮三种不同颜色的贴皮可供用户选择。

音箱最为核心的部件就是扬声器单元了，派扬HiFi-4应用了一只1英寸丝膜高音单元和一只6.5英寸碳纤维复合盆中低音单元（图1）。从外观来看，这两只单元的做工还是不错的，应用了较为大型的磁钢，音圈和内部接线也较为规整，是正规厂家的产品。厂家的资料介绍该6.5寸低音单元的振膜由一种非编织性炭纤维制成（图2），并采用Santoprene（一种热塑性弹性材料）填充，这种炭纤维振膜能比一般的聚丙烯振膜轻25%，因此瞬态响应更佳。

高音单元应用丝膜，笔者认为是相当保险的一个做法。众所周知，中低价位的音箱最令人诟病的音质问题就是干、

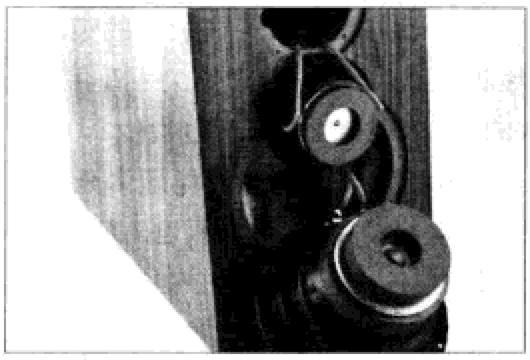


图1 1英寸丝膜高音单元和6.5英寸中低音单元

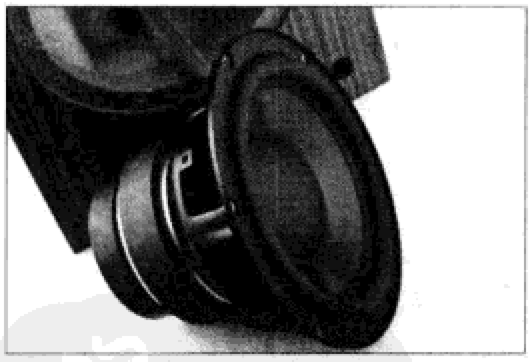


图2 6.5英寸低音单元的振膜

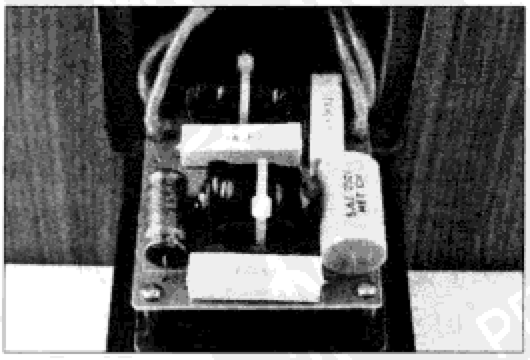


图3 该箱的分频器

冷、薄、硬的声音特色，而导致这一缺陷的主要原因来自高音单元。有些厂家跟风应用金属膜高音单元，殊不知，此种高音单元如果素质不佳或者应用不当，极易导致前述缺点的产生，而丝膜高音单元在历经多年的发展改良后，技术和材料已相当成熟，其听感顺滑、服帖，不易产生恼人的尖锐而锋利的高频，非常容易被人接受。

该箱的分频点被设置在3kHz，分频器的设计非常简洁（图3），在不大的电路板上，仅有7个元件，电阻、电容等元器件虽然不是高端产品，但焊接牢固，排位规整，考虑到该箱的售价，也无可厚非了。

实际测试

图4为中大音响厂方公布的频响曲线测试图，从这一测试结果来看，派扬HiFi-4的表现相当不错，低频基本从50Hz处才开始滚降，而高频能顺滑延伸至20kHz，全频的曲线非常平坦，无明显的波峰和波谷，这一表现即使是在贵价数倍的进口产品之中也是非常难得的。

但厂方的测试毕竟是在严格的消声室环境进行的，绝大多数发烧友的聆听环境不可能达到这个标准，那么在普通的听音室内，该箱会是何种表现呢？本次评测中，我们选择《高保真音响》杂志的听音室进行了一次对比测试，同期测试的还有一对某英国品牌万元级的书架箱。

该听音室面积约40m^2，进行了软包吸音处理，合成木质地面，室内放置的物品较多，混响时间恰当，是比较典型的听音环境。在测试中，我们使用了SpectraLAB这款声频测试软件，收声话筒垂直放置于音箱正前方大约70cm处。

经过多次测试后，软件合成出了派扬HiFi-4的频响曲线图（图5），从该测试结果中我们能够发现，该箱的低频大约从100Hz处就出现了滚降，在大约400Hz的中频段有一个小的波谷，高频能够比较顺滑地延伸至20kHz，略有下降。

我们再来看这款用于对比的英国品牌万元级书架箱的测试结果。该书架箱采用三单元设计，1英寸高音单元为金属振膜，中高音单元的口径为2英寸，低音单元口径为6.5英寸。从图6我们能够看出，该箱的低频几乎同样在100Hz处开始滚降，与HiFi-4不同的是，该箱在大约150Hz处有一处较为明显的波谷，中频段较为平坦，但在大约1.5kHz的高频段，先是有一个较大的波谷，而后又大幅上扬，在大约1.9kHz处形成一个尖锐的波峰，到20kHz处后急速滚降。这个频响测试的结果反映出了该箱非常容易出现前文介绍的高频尖锐、刺耳的不良听感。

本次测试从环境到测试设备均不够严谨，最终结果仅作为一个参考，但在相同环境下测试的两对音箱却有着非常不同的结果，也能从一个侧面说明问题。

实际听感

测试指标只能作为参考，音箱最终还是要凭耳朵验货。本次评测我们选用了英国Meridian 588 CD机作为音源，前级功放选用美国Audio Research LS17，后级功放选用美国CODA的CSX，连接线材全部选用高档发烧线材，就器材的品质而言，搭配派扬HiFi-4可谓绰绰有余。

在实际聆听阶段，我们选用了Maxence Cyrin的《Modern Rhapsodies》专辑进行测试，这是一张名不见经传的钢琴发烧录音，录音完整地将YAMAHA C4钢琴的庞大动态保留下来，对于音响系统的全频表现都是严苛的考验。在这套组合的诠释下，钢琴的高频的延伸顺滑、服帖，无明显的毛刺和颗粒感，但在极高频的延伸和空间泛音方面略有欠缺。中频的衔接也较为自然，无明显的纰漏，在表现钢琴庞大的形体时，HiFi-4略有些吃力。低频下潜良好，有不错的冲击力和力量感，但在超低频的延伸方面仍留有一定欠缺。

客观来讲，让HiFi-4重播如此高难度的曲目实在有些勉为其难，要知道，钢琴属于音域最广的“乐器之王”，在重播时对音响系统全频的要求都非常高，笔者认为，作为一款中低价书架式音箱而言，HiFi-4在这款录音的重播上总体是合格的。

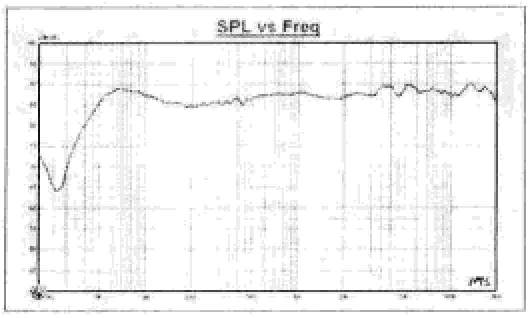


图4 厂方公布的频响曲线测试图

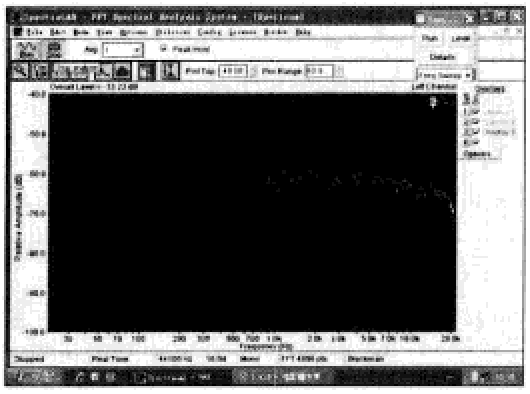


图5 本刊实测频响曲线

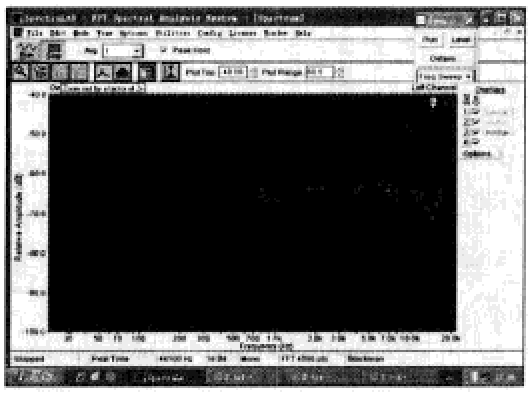


图6 某英国品牌万元级书架箱频响曲线

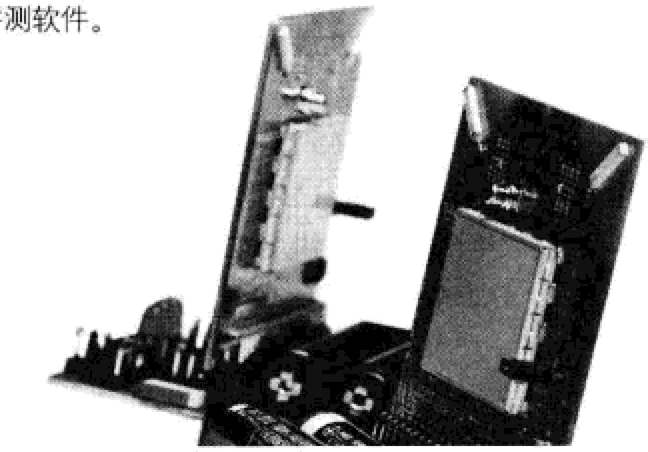
总结

这款派扬HiFi-4书架式音箱，虽然售价还不到千元，但其中肯的设计、务实的用料和踏实的声音表现都很不错，该箱的声音表现虽然在某些方面还不尽如人意，但横向对比的话，完全有实力叫板市面上3000元档次的进口书架式音箱。以声论价，其性价比凸显无疑！

爱特梅尔推出低功率射频收发器AT86RF232

爱特梅尔公司（Atmel Corporation）推出一款新型RF收发器AT86RF232，用于支持2.4GHz ISM（工业、科学和医用）频段的应用。AT86RF232收发器具备最新无线应用的所有必须特性，包括优良的射频（RF）性能、更低的功率、高链路预算和天线分集（Antenna Diversity）。新器件还支持ZigBee RF4CE规范，以用于控制多种无线消费产品，包括家庭娱乐设备的遥控器、鼠标、键盘和3D眼镜等人机接口装置。

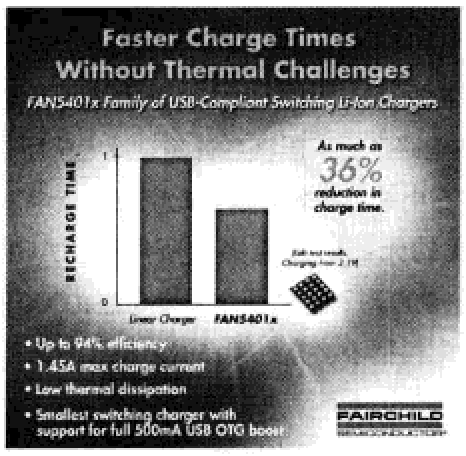
AT86RF232的电压范围为1.8~3.6V、灵敏度为-100dBm、输出功率为3dBm，可在各种应用中延长电池寿命。该收发器的电流消耗是13.8mA，还具有11.8mA的接收器电流消耗、天线分集和AES加密特性，所有这些特性在为大批量消费应用提供功能强大的无线收发器方面具有重要的作用。AT86RF232收发器可与REB232ED-EK评测工具套件一起提供，该套件包括两块AT86RF232无线评测板及爱特梅尔ATXmega256A3微控制器。可在爱特梅尔网站www.atmel.com/AT86RF232免费下载这些评测板的评测软件。



飞兆半导体推出锂离子电池充电器FAN5401X系列

飞兆半导体（Fairchild Semiconductor）开发出具有全面USB On-The-Go（USB OTG）支持的FAN5401x 系列USB兼容锂离子电池开关式充电器产品。该系列产品的首款器件FAN54013提供达到1.45A的最大充电电流，以及更大的USB OTG升压功率，可在5V电压下支持500mA电流。

FAN54013采用基于开关模式的拓扑，在通过USB端口或AC/DC适配器为单节或双节锂离子（Li-Ion）电池充电时，能够缩短充电时间，并能解决目前与使用线性充电器方案相关的散热问题。除了提供最高94%的充电效率之外，FAN54013还具有一整套保护功能，包括集成20V额定输入电压、热保护、反向电流阻断、看门狗定时器，以及符合USB要求的±5%的精确输入限流。USB OTG运作采用集成式5V/500mA升压稳压器，与充电器共用同一个电感，从而减少了外部元件数目。新产品可为手机、平板电脑、数码相机和便携媒体/游戏播放器等便携产品中的单节或双节锂离子电池充电。

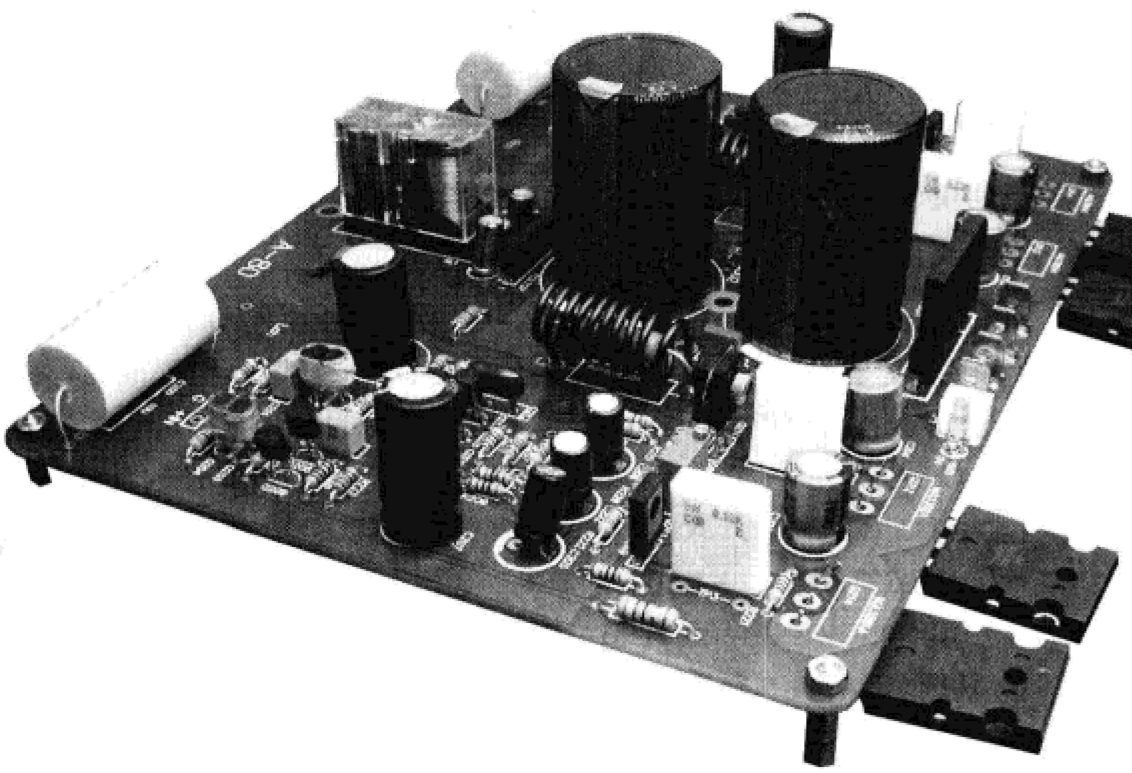


安森美半导体推出多通道LED驱动器NCP1840

安森美半导体推出多通道LED驱动器NCP1840，此器件能够独立驱动多达8颗LED，拥有通过串行端口统一控制各个LED亮度及闪烁率等功能，减少了对电路中的微处理器端口的需求。器件使用高能效、低噪声的四模电荷泵，能够延长电池使用时间，只需5个小电容及1个电阻就可以构成一个完整的LED电源及电流控制器，非常适合应用于便携设备。

德州仪器推出可调光AC/DC LED照明驱动器LM3448与TPS92070

德州仪器（TI）推出两款高度集成的相位可调光 AC/DC LED照明驱动器LM3448与TPS92070，这两款驱动器适用于改装灯泡、LED镇流器、射灯以及聚光灯等灯具。LM3448为自适应恒定关断时间的AC/DC恒流LED稳压器，集成了600V MOSFET，并针对2～8W可调光LED照明驱动器进行了优化。TPS92070为反激式AC/DC恒流LED驱动控制器，针对6～20W可调光LED照明驱动器进行了优化。这两款产品均支持热关断、VCC欠压锁定、周期性峰值电流限制以及LED开路保护等功能。



◎卢伟

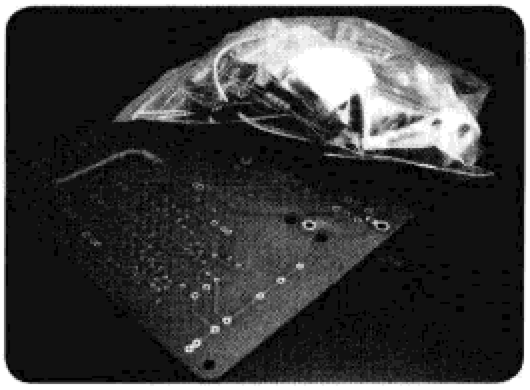
一款经典的Hi-Fi家用功放套件

A-80

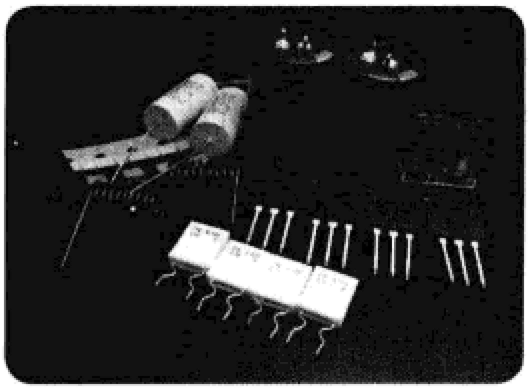
目前，尽管市场上冠以Hi-Fi的放大器比比皆是，但在音响发烧友中真正达到Hi-Fi级的却不多，A-80功放套件的设计者基于无缺陷功率放大器的设计理念，为广大音响爱好者提供制作一款家用Hi-Fi功放的机会。

A-80功放电路源于英国著名音响设计大师所著的《音频功率放大器设计手册》（Audio Power Amplifier Design Handbook）中的B类50W功放，并在电路上稍作修改。此电路在音响发烧圈内极受推崇，笔者收到套件便迫不及待一睹这慕名已久的功放电路的真容。

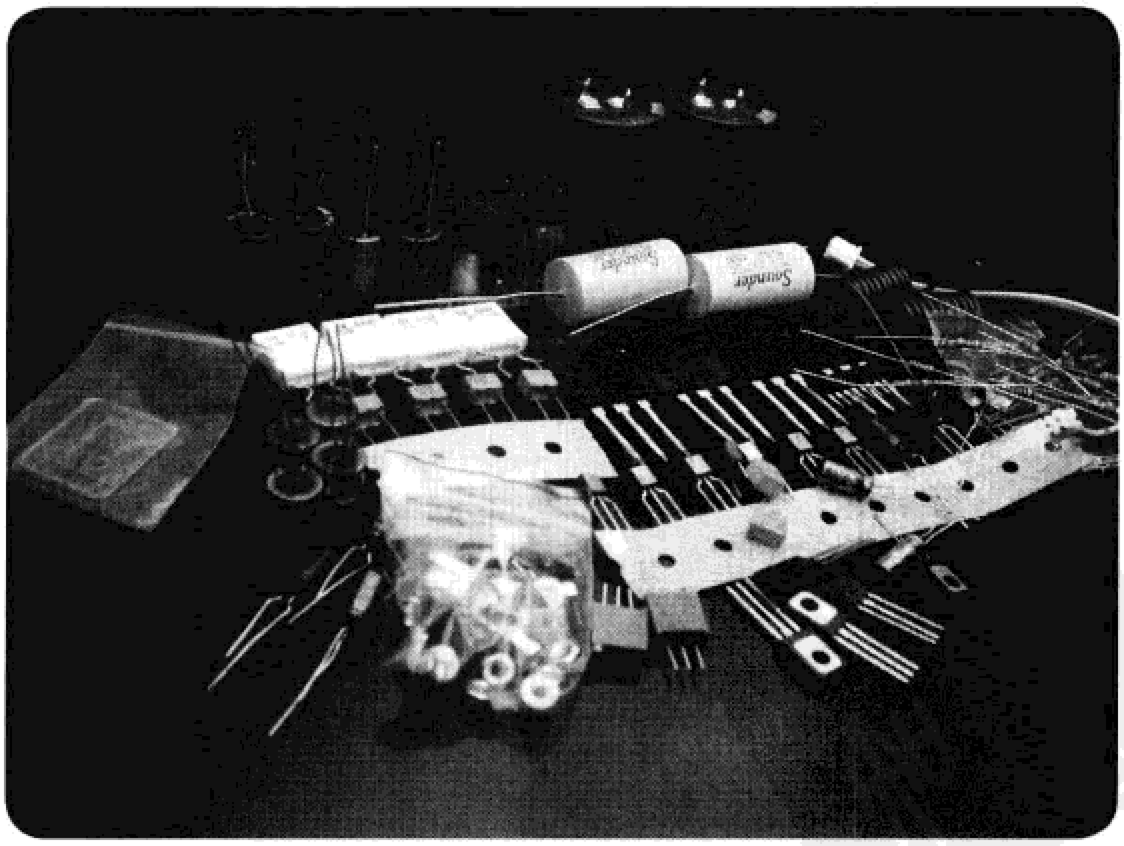
套件配发的元器件是业界众所周知的AUDIO补品元器件：日本KOA五环金属膜电阻、德国WIMA电容、 nichion电容、MJL1302/3281功率对管以及两个容量高达10000μF的FOR AUDIO的elna fa的“大水塘”，PCB采用FR4蓝色2.0mm双面镀金PCB，整个套件给人一种配料精心、充足实在的感觉，令人欣慰。



器件的全貌



发烧元器件



套件中的所有元器件

■ 电路特点

A-80功放电路简明扼要，所用元器件虽然不多，却具有无缺陷放大的潜力，本文简析其奥妙的所在！

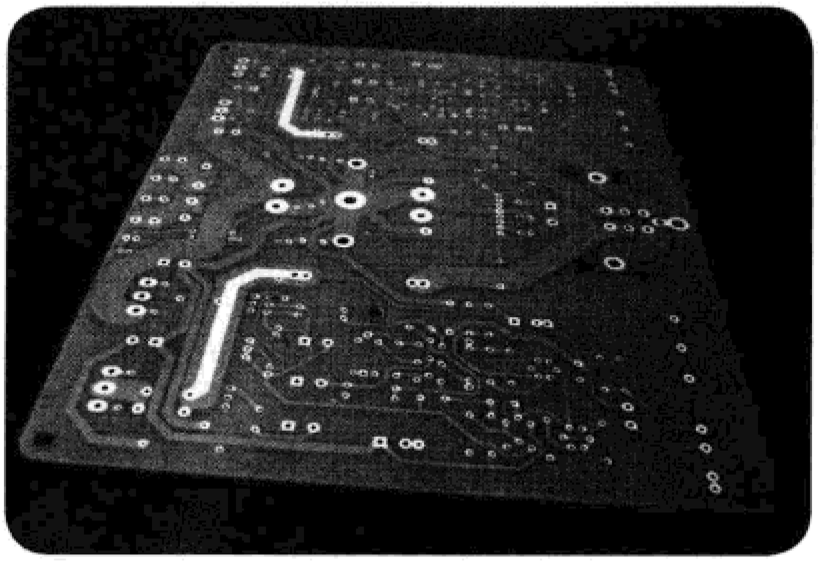
A-80功放虽然电路比较传统，但设计者经过精心地布局，使镜像完全对称的左右声道、居中的板载扬声器保护电路和板载整流、滤波电路于一体，PCB布线上特别加粗电源走线的铺铜和采用一点接地（特别提出：信号地与电源地是通过小电阻连接的）。这样极大地减少电源回路和电源噪声的影响。

扬声器保护电路采用FC1237模块电路，以保障你的昂贵音箱免受损伤。电源通过变压器降压后经整流和两个10000μF的电容滤波，高频成分采用两个220μF电容滤去后供给左右声道。信号经过输入级（包括恒流源管VT105和差分对管VT101/VT102）通过R2、R3设有较深的本机负反馈，以抑制输入级失真。VT103/VT104构成负反馈式镜像电流源，迫使差分管对的c极电流达到平衡，有效防止2次谐波失真。采用恒流源尾巴的VT105/VT106，配上电容C103/C102，其基本的电源抑制比表现优秀。

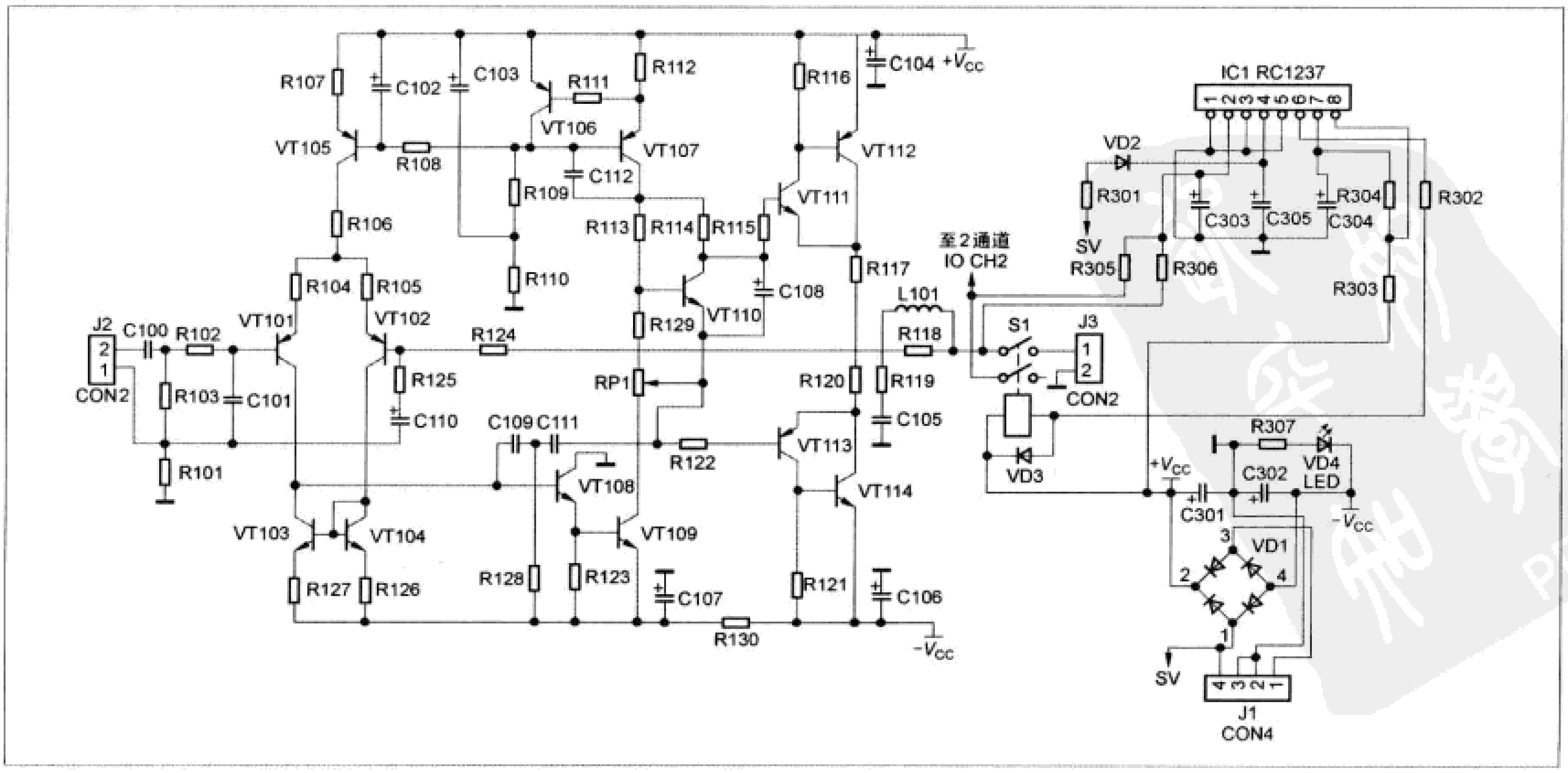
电压放大级在密勒补偿环路里加插一个射极跟随器，在总β值增大的同时增强本级负反馈线性，能有效的消除电压放大级的失真。为避免自举电路带来的不确定性，电压放大级负载采用恒流源形式。

由于A-80功放所有的失真几乎都是交越失真，因此必须消除静态工作状态不稳定的影响。设计者使用VT110与R114构成标准的V_{be}倍增器形式，并在平衡关系等式中预留余量，经过修改使得流过它的电流发生变化时输出的偏置电压更稳定（静态工作状态稳定，物理布局也是必须考究的）。

功率输出采用倒置达林顿连接，保证了良好的热稳定性和基本线性的优良。C105和R119构成了茹贝尔网络，由R118提供阻尼的电感L101，其作用是为放大器驱动电容负载时提供隔离。这台放大器负反馈在20kHz设定大约为30dB，应该能得到较好的高频稳定裕度。输入电阻R103与负反馈电阻R124取值相等，可以减小由β值差异引起的基极电流失配造成的直流失调电压。电容C110和R125构成的低频滚降能避免电容非线性带来的低频端失真。



A-80的PCB



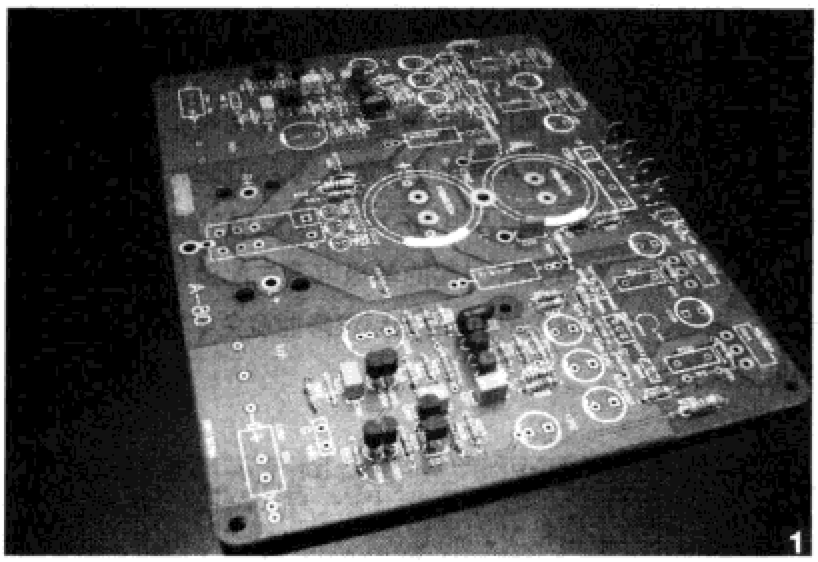
A-80功放电路

■ 焊接过程

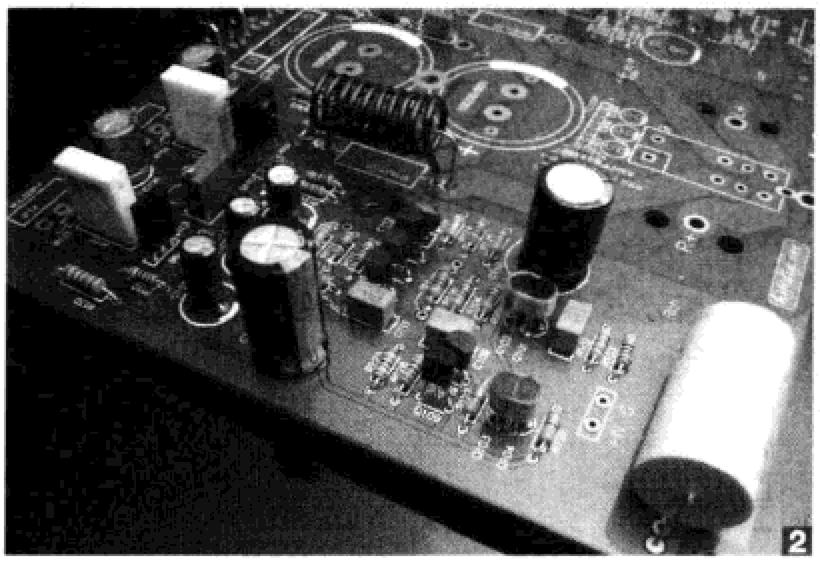
A-80套件为用户提供元器件的同时发放（1）A-80元件布置图；（2）A-80电路图；（3）A-80元件表；（4）A-80简要装机说明。

笔者建议：收到套件的第一件事是花点时间对着元件表清点元件和看简要装机说明。

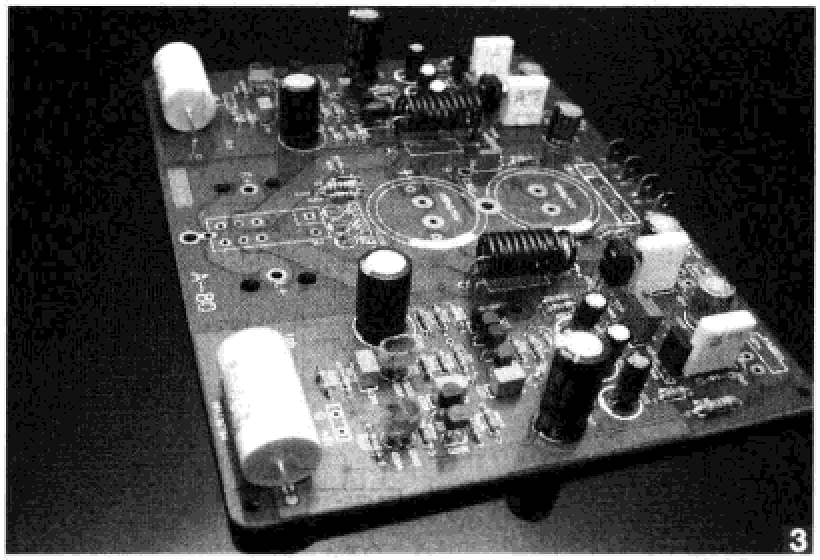
接下来就是繁重的焊接过程，本着先低后高，先小后大的原则，从最小的电阻开始焊接。



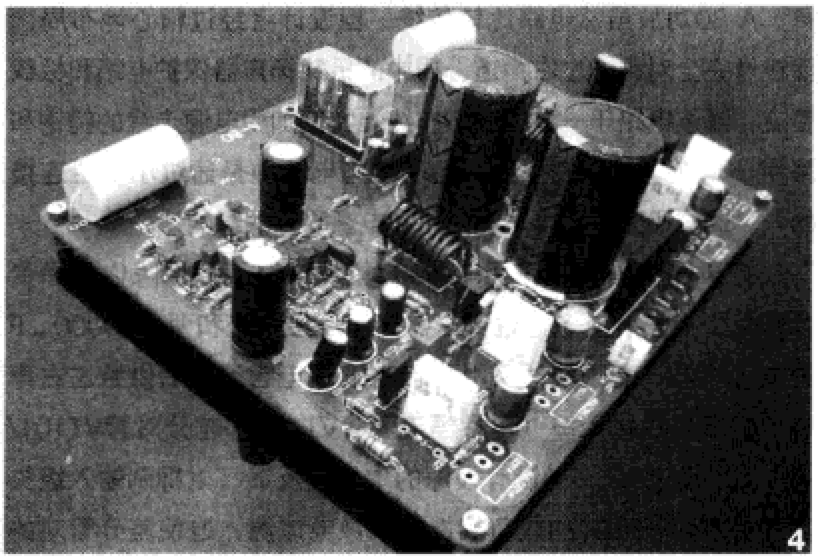
将差分对管和镜像电流源管粘连一起，这样不仅美观而且助于热耦合。



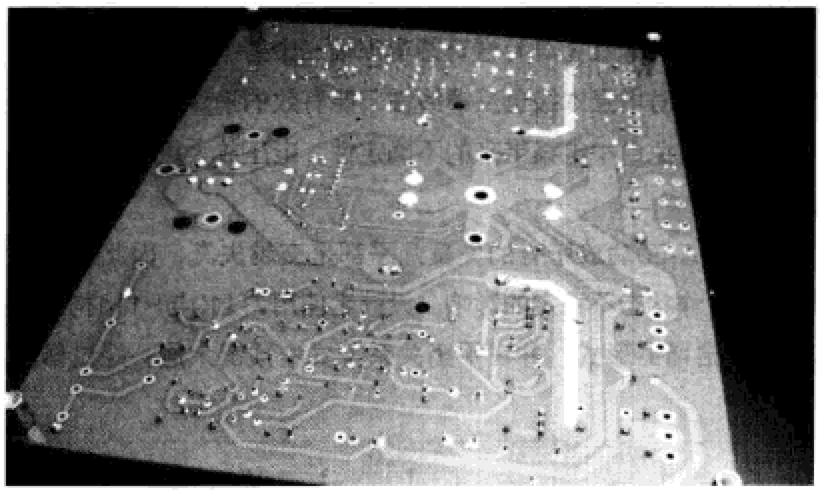
从电阻、电容一路焊接下来，到这里就完成了一个声道的焊接。



这里已经完成了双声道焊接。



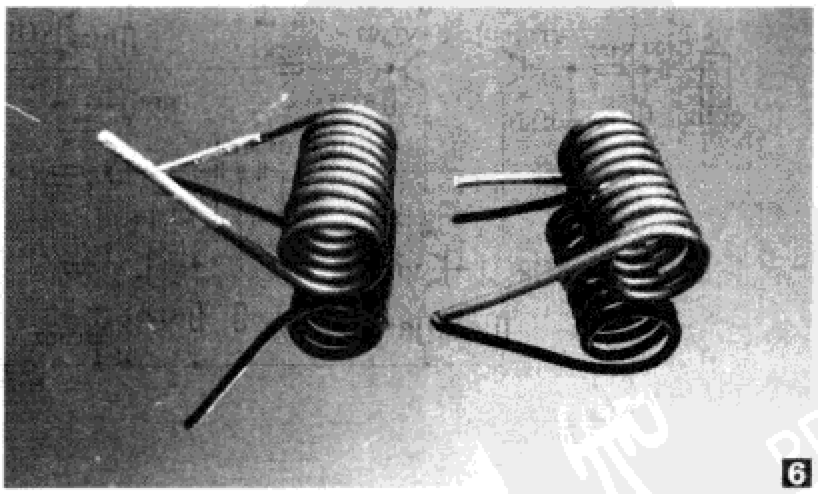
已经完成焊接的阶段了。期待调试的完成，心里很激动。



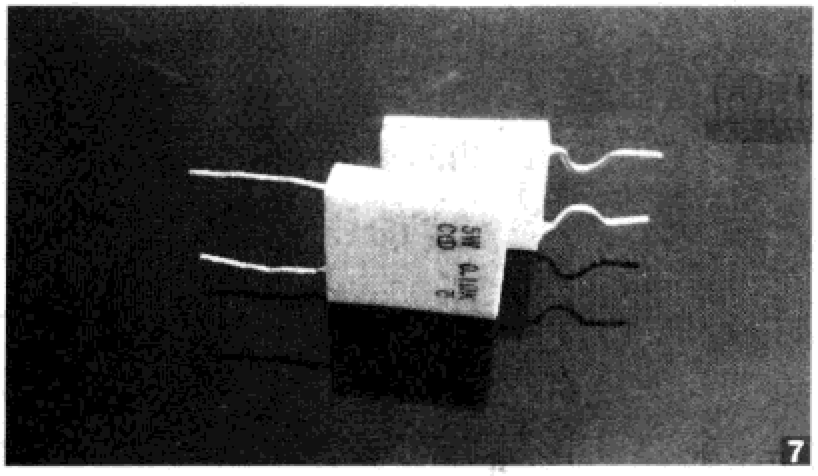
小秀一下我的焊接技术。

TIPS

值得注意的是，对于电感、陶瓷电阻和三极管D669应做事前准备工作。



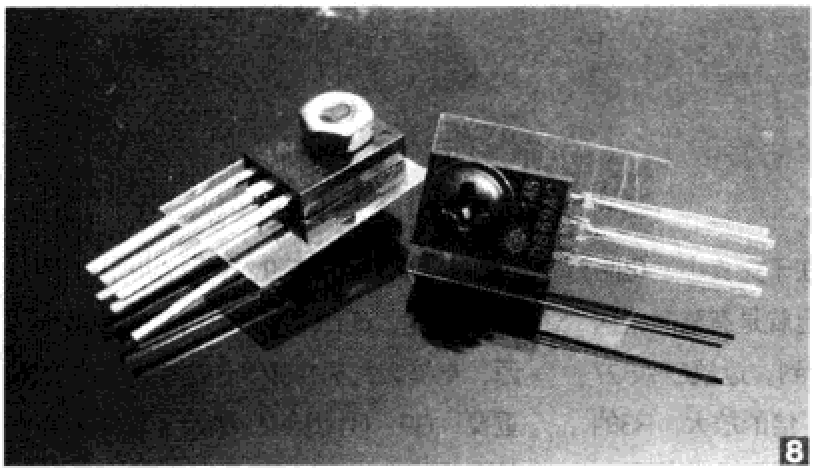
电感经过除去绝缘层并上锡处理。



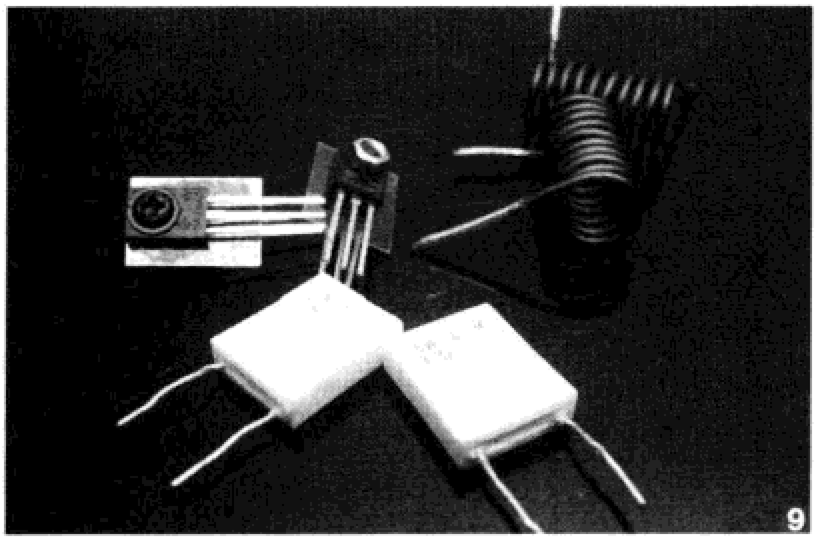
电阻引脚建议拉直。

TIPS

注意中功率管VT211/VT210、VT111/VT110，它们既要实现热耦合，也要保证相互绝缘，两管中间必须垫绝缘片，用螺丝固定，焊接前建议用万用表测量一下。



D669经过螺丝和云母片固定。



大功率对管建议先不焊接，等调试后同散热器一同安装。

■ 调试与安装

在通电调试前，先检查PCB上所有元器件，保证所有元器件安装正确可靠（特别是有极性的电容、二极管等）。如果有必要可以用欧姆表在路检测电阻，电阻值不应该高于标称值。确认无误后，可以用欧姆表测量电源输入与功率输出是否有短路现象。

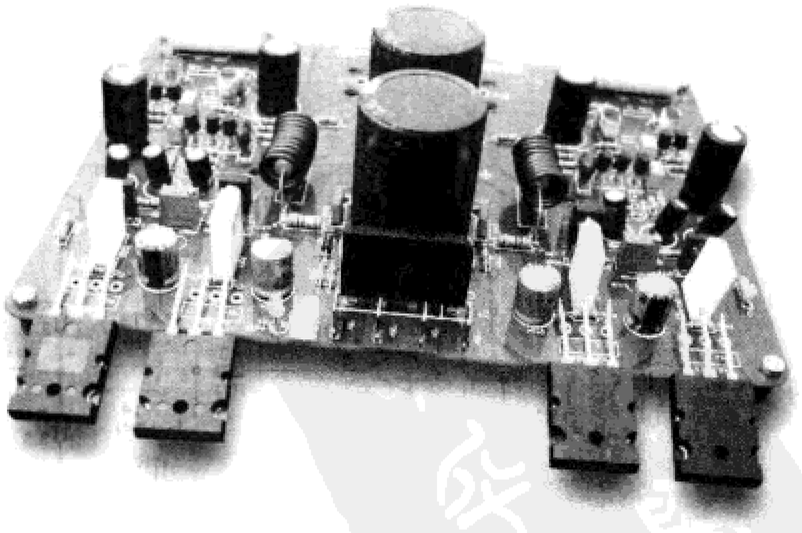
加电调试：连接变压器的次级到功放PCB的交流电源输入端（标有~26V、~0V、~26V、~0V）快速开、关电源开关一次，LED应正常亮起，然后接通电源，检查各元件有无异常（发热及冒烟等现象）。如有异常，立刻关闭电源开关，排除故障。接通电源后3秒钟左右，会听到“嗒”的一声，继电器会吸合。用万用表直流电压挡检测左右声道的测试点，TP1两端的直流电压为4V左右，TP2两端的电压为0.66V左右。

末级静态电流调整：微调RP101，RP201电位器，未调试之前的末级静态电流一般为零。选择万用表直流毫伏挡，接TP3两端，逆时针方向缓慢旋转RP101(RP201)，使得TP3的电压为2.3mv左右，并稳定10分钟左右。用同样方法调整另一声道。RP101、RP201逆时针方向旋转，末级静态电流增大，顺时针减小。关机，LED灭后再开机。等静态电流稳定后再次微调，使得TP3的电压为2.3mv左右。至此，调试结束。

最后就是安装功率对管和散热器(功率管兼顾卧装和立装)，马上就要感受A-80的魅力了。

■ 笔者感悟

音频功率放大器的设计制作以它特有的魅力，吸引着每个爱好者。制作一台功放虽然不是很复杂，但制作一款自己的Hi-Fi功放却需要你去克服种种意想不到的困难，虽然有时会让你纠结，同时也能体验到成功的乐趣。



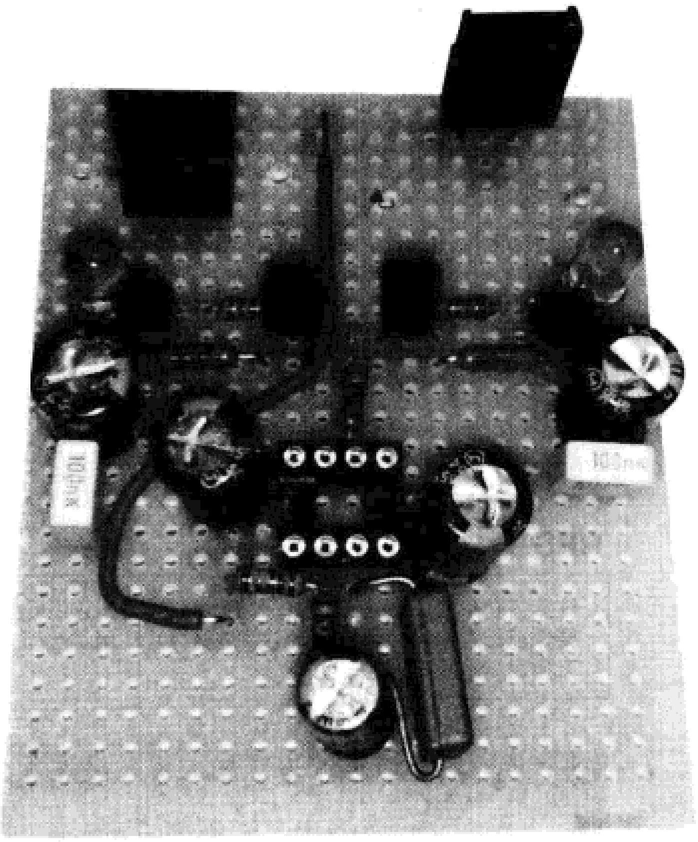
套件销售

套件价格：280元/套+15邮费

购买方式：1.邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明A-80功放套件和汇款人电话。2.淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

◎dingle

"B2"小耳放的设计



刚做了一个声卡，但还没有合适的放大器来驱动耳机，于是就筹划着制作了一个小耳放。偶然中发现了OPA627运放，仔细研究其性能，不禁一惊，太强了，哈！大多数网友对OPA627的评价是：解析力强悍。于是设计用OPA627配合buf作扩流，并找到了一个叫diamond buffer的电路，在多次模拟之后，发现这一电路确实有实力，在此对其作者表示深深的敬意。当然也感谢TI样片的支持，我是一个穷学生，省吃俭用，终于凑齐了各种元件。经过半年的辛勤努力，耳放总算是做好了，取名"B2"，可谓"乐在其中"。

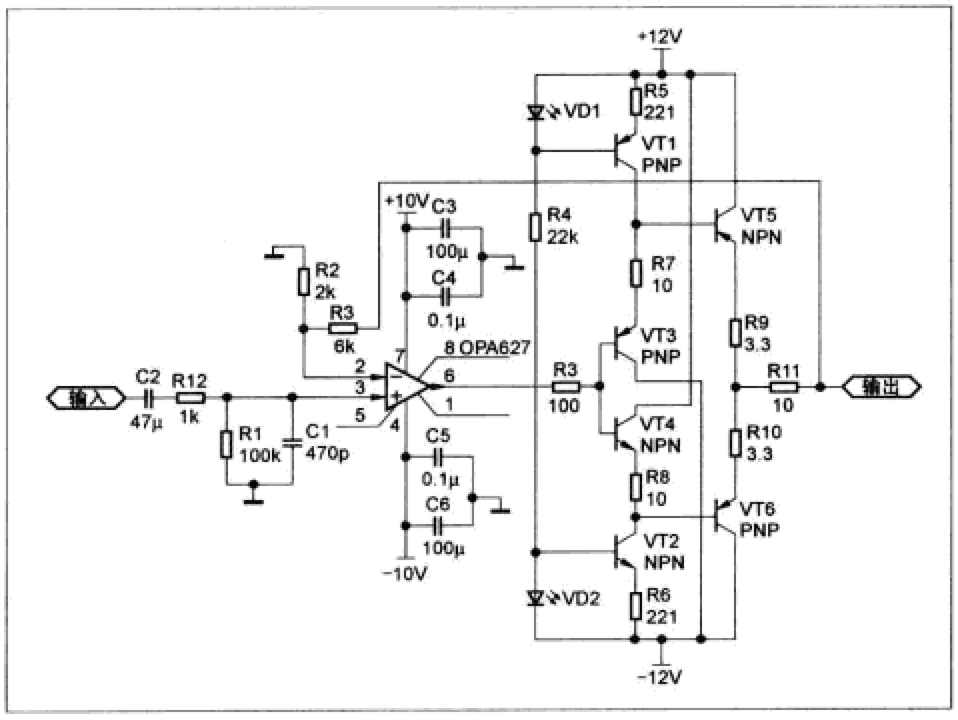
电路特点

1. 放大电路

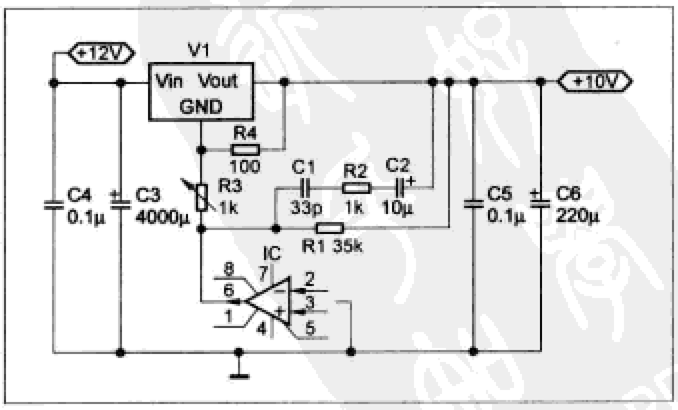
放大电路如图1所示，输入端的C2（10~47μF）是比较重要的，选值一般视所需电容的充放电速度而定。C1是旁路电容（470pF），这个小家伙很关键，它比电阻做旁路的优点在于失真小，电阻低频相位失真是90°，也就是有延时，这一点在solo耳放中也有用到。运放OPA627比较普通，有3（6k/2k）倍的放大。R3的作用不可小看，我曾大意地把它忽视了，造成的后果是，无输入时，输出的电压偏离中点。VT3和VT4是放大管，R7和R8主要是均流，VT5和VT6作放大和扩流。VT1、VT2、VD1、VD2、R5与R6组成恒流源，电流大约有0.5mA。这个恒流源比较重要，R9、R10及R11决定了输出阻抗，其阻值约为30Ω。

2. 电源电路

电源在整个电路中是很重要的。我采用LM317与LM337组成的双电源，电路如图2所示。众所周知，LM317的波纹抑制其实并不出色，但优点是电路简单，为此我多加了一个运放来及时调整输出端的波纹，这里放大了35（35k/1k）倍。电



电源电路



放大电路

容C2（10μF）有隔直流的作用，在实际中，这电容的充放电速度对波纹是有少许影响的，电容C1（33pF）也是为了消除波纹。在这样的处理下，稳压电源的性能还是比较理想的。

运放最好是高速型，由于手边只有NE5532，于是就用上了。电阻采用的是普通国产的金属膜电阻，电容C3采用的是4颗思碧电容，C4（0.1μF）采用的是云母电容。变压器用的是R型的，功率在30W左右，在这种小功率场合，还是推荐R型的。

元件选择

1. 运放

单单OPA627的封装有3种：贴片，直插还有金封。我采用的是直插贴片。据许多网友说金封的声音较好听，这一点我也无从验证，金封的价格也是恐怖的。单单是TI的同一芯片也有许多型号（不同的后缀），这是为什么呢？仔细研究了一下，发现除了封装不一样外，不同型号的差异，也造成了听感的差别。

2. 电阻

我采用的是进口的电阻，其实我之前使用的多是用国产的普通电阻，这两者价格相差十几倍，可差在哪儿呢？我本不信“补品”这一说，但经过对比发现，高端的电阻不仅误差小，在高温环境下稳定性好，其“附带”的参数更低，不论是稳定性还是电感数，“补品”的作用不可小视。

3. 电容

放大部分的电容较少，却难以忽略的。电源部分我用的是4颗ELNA的1000μF配合0.1μF的云母电容，电容的充放电速度是一流的，干净有力。输入电容我先用的普通的尼康电容，但发现声音偏闷，换了ELNA的SILMIC系列的金角电容后，我不禁一震，声音有明显的不同，证明输入电容的选择还是有讲究的。

4. 三极管

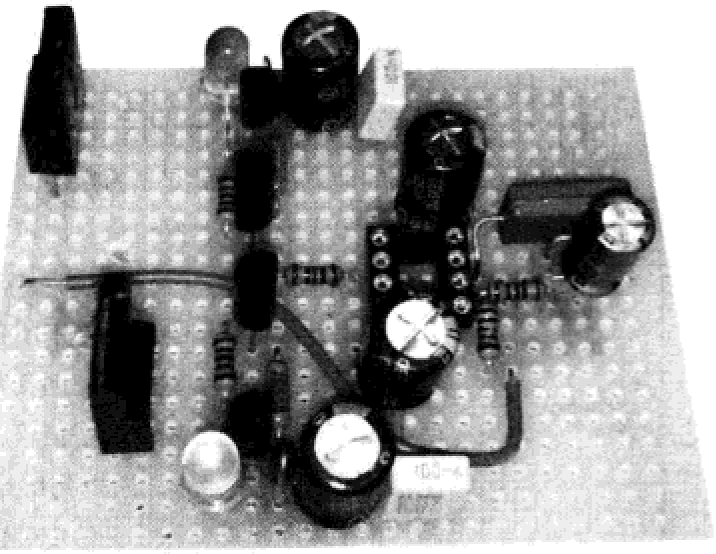
我用的是东芝对管A1145和C2705直接推A1930和C5171。由于两者实际发热量并不大，所以我并未装散热片。

5. 二极管

二极管没特殊要求，但要求严格的配对一下，压降最好是一样的。我在未配对的情况下，发现有一个三极管在无输入电压时发热严重。

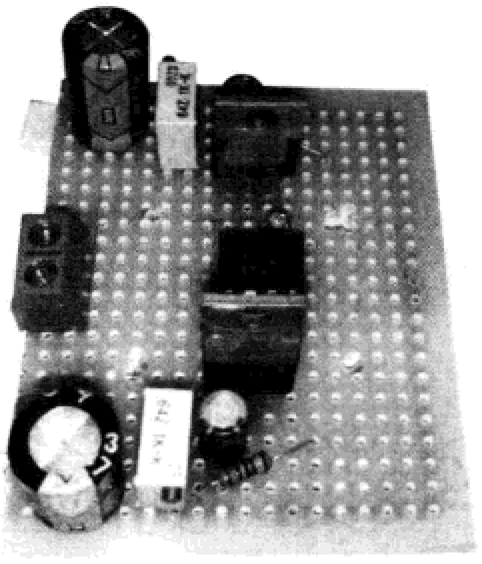
峰回路转——重回起点

细心的人会发现，这个电路放大部分的补偿电容不见了，甚至之前我根本没有提到过。的确，这个电路是有极其大的可玩之处的。



放大板

这个电路现在的参数都是为OPA627量身定做的，要是直接替换其他运放，电路发生“自激”的概率是极高的，因此R3上要并上一个电容，因为我的电路没有自激，所



电源板

以我忽略了这个问题，但是之前我换上NE5534做“炮灰”时曾发现有较大的自激，这是个值得注意的问题，10V的电源是足够了，因此无需更改。

有了三极管，你肯定会问是它们工作在什么状态的？那么前面一笔带过的二极管要重新提起，二极管的首先形成0.7V压差，越过VT1使R5两端产生了0.1V左右压差，形成一个约为0.9mA稳定电流。聪明人应该明白了吧，二极管的数量可以决定这个恒流源的电流，这个电流就是后一级的偏置电流了，也就决定了放大级三极管的工作状态了。

最后，说一下阻抗。R9和R10是均流电阻，取值小，电流大，推动高阻抗耳机却不利，取值大，又推不动低阻抗耳机，所以它们决定了输出能力。R11则是一个输出电阻，这是个可玩性高的电阻，尝试不同的电阻，产生的效果是不同的，同时它也决定了输出阻抗。在这个电路中是推30Ω左右的耳机。若推动250Ω的，则可以把R9，R10换为10Ω，R11为100Ω左右，这个电阻和拜亚动力A1的输出阻抗切换很像，我也在尝试做出相同的试验。

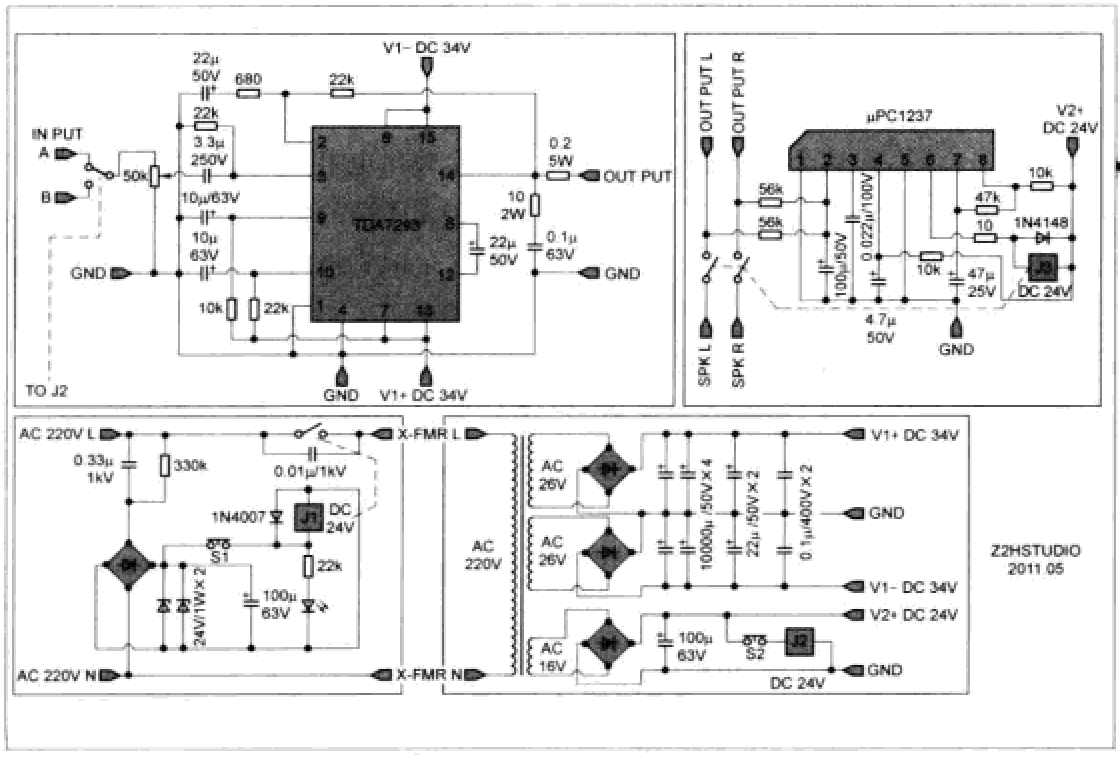
这个小耳放的制作介绍到此为止了，因第一次写文，如有错，还望指出。至于听感，我是“木耳”，就不加评论了，哈哈！

◎张之航

经典制作全程播放
——桌面功放的设计与制作

从小学四年级开始就喜欢电子制作，可惜20年过去了，到现在也没鼓捣出什么名堂，一直处于菜鸟状态。最近几年在网上逛了很多音响类的论坛，在与坛友们的交流中学到了很多知识，进步比过去这十几年要快。不过实话实说，个人对电路结构、调试之类了解的仍然不是很透彻，只懂些基础的皮毛。从厚膜电路玩到集成电路，目前的水平也只是刚刚能照图做响。最近帮朋友制作了一台接电脑用的桌面功放，现将整个制作过程记录下来与大家分享，希望对刚接触音响DIY的新手们有一定的帮助。

既然定位在桌面功放，以电脑为音源，必然也就是推一款书架箱，功率要求也不是很大，而且发热量要控制得住。之前已经做过一台四声道TDA7294功放和一台两声道的TDA7293功放，对这个集成电路的使用有一定的把握。TDA7294是意法半导体于1996年推出的DMOS场效应管输出的大功率音频功放集成电路，它具有较宽范围的工作电压，较高的输出功率（最高100W），较小的噪声和失真，并且具有静音待机功能和过热、短路保护功能。几年之后意法公司又推出了升级型号TDA7293，进一步提高了其最高供电电压和输出功率，并且加入了多芯片主从并联功能，可以非常容易地实现末级并联输出。这次制作选用的是TDA7293芯片，基本要求是机器体积小巧，每声道单芯片，选择适当的电压供电，在音质与发热量之间找个平衡点。

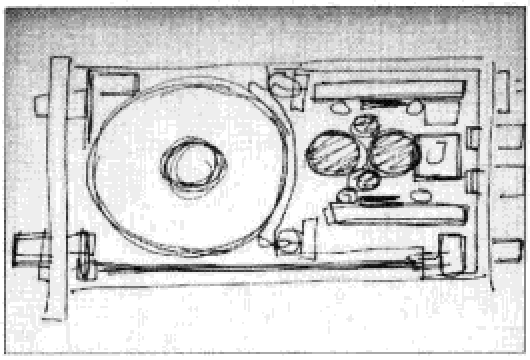


电路特点

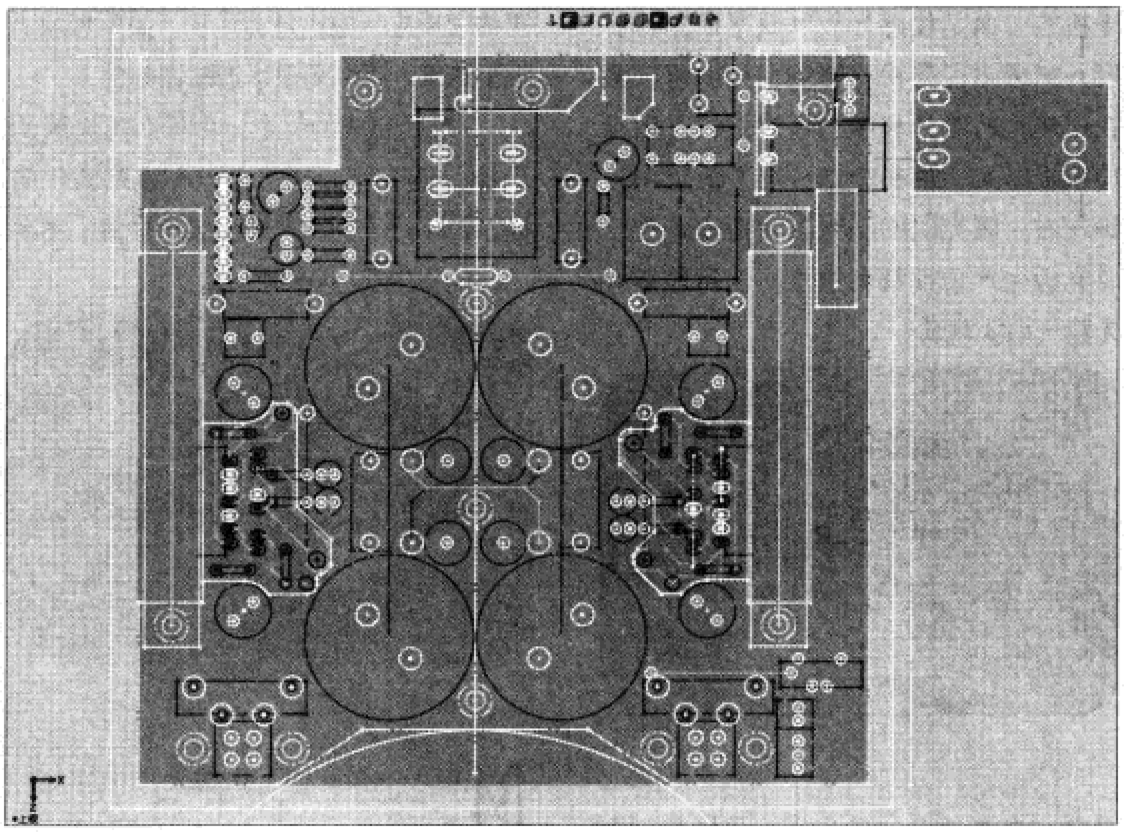
先从电路开始介绍。电路没有太多特别的地方，基本就是官方电路，只是输入耦合电容的选值，经过反复比较之后，个人仍然认为2~3μF比官方的0.47μF在低频下潜方面要好一些。电路中所有元件参数都是最终实际参数。另外朋友要求有两组输入可以切换，所以加了信号切换继电器。电源开关部分之所以用继电器控制，是受限于机箱体积，无法安装普通自锁开关的妥协做法。

元件布局

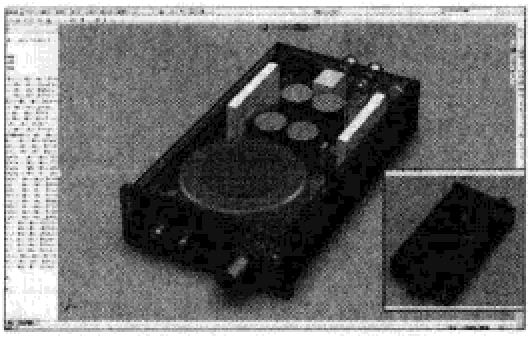
01 有了电路图，就该布置元件和走线了。机箱是网购的，宽145mm，高54mm，深250mm，外观比较朴素。不过想要放大点的环牛（环形变压器），又不想把电位器用很长的线连接，只好设计电位器延长方案。先画了一个布局草稿。



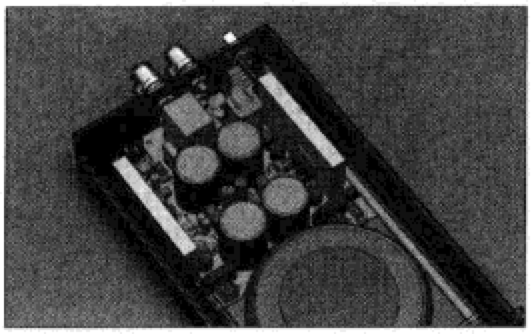
02 由于不会用专门的电路绘制软件，还用老本行Solidworks吧。先测量所有元件的外形和引脚尺寸，然后布网格，画PCB图。PCB用单面感光板来做，IC引脚处有另外一小块反过来做集中跳线，方便布线。



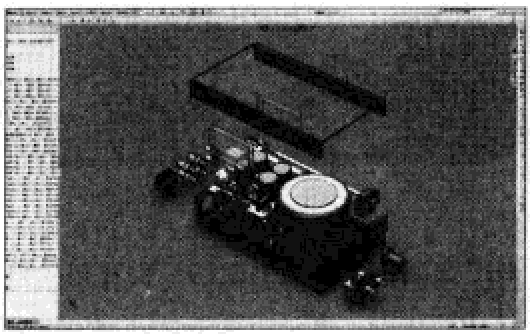
03 机箱也是实际测量建模，所以各元件的装配关系很明了，也方便后期加工。唯一需要定制的就是变压器和两个IC的导热板。散热完全靠机箱本身，这种方式是第一次尝试。



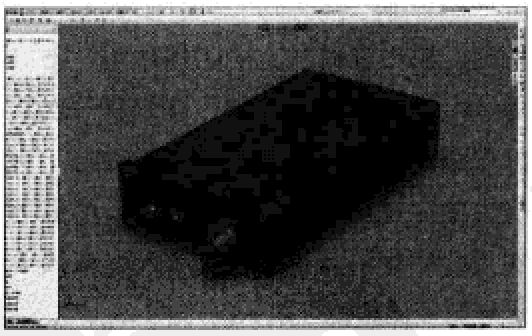
04 由于布局很紧凑，所以比较担心的问题就是环牛会对器件产生干扰。



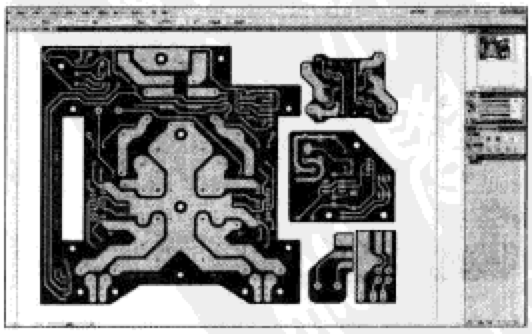
05 Solidworks 建模的方便之处是可以很清楚地看到最终的零部件装配关系。



06 完成后的样子非常朴素。



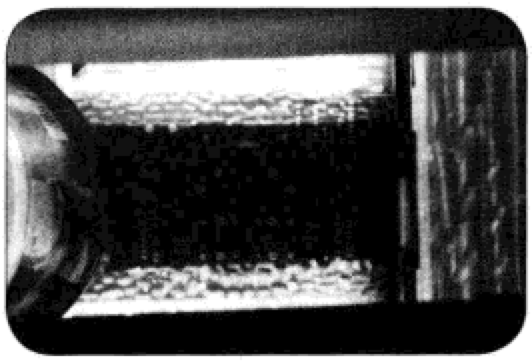
07 最后出来的 PCB 是这样的。受限于单面板和个人水平，很难设计出严格的一点接地，最后搞成总线式接地了。



PCB的制作

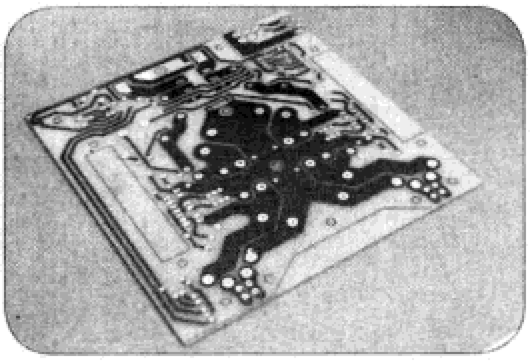
01 这里简单介绍一下感光板的用法，供新手参考。先用激光打印机打印胶片，记住要选镜像打印，把胶片有墨粉的一面贴住感光板以获得最佳解析度，如果觉得墨粉不够浓密可以两张叠在一起。将胶片和感光板对好位之后用玻璃板压实，放在荧光台灯下曝光15分钟左右。曝光时间和光强、距离，甚至感光板生产日期都有关系，使用前最好先裁一小块测试一下。

02 之前做过几次感光板，显影蚀刻完毕后都进行了整体脱膜，又不太会涂阻焊绿油，结果铜箔不久就发暗氧化了。这次开动脑筋，研究了个新方法，就是二次曝光，做出焊盘（不做焊盘的话，感光膜有一定的阻焊作用，不好焊）。其实方法很简单，就是第一次晒好电路后，蚀刻的时候要避光进行，这样蚀刻完毕后感光膜仍然有效。然后再次用打印好的焊盘胶片来曝光，最后放进显影液显影就可以了。

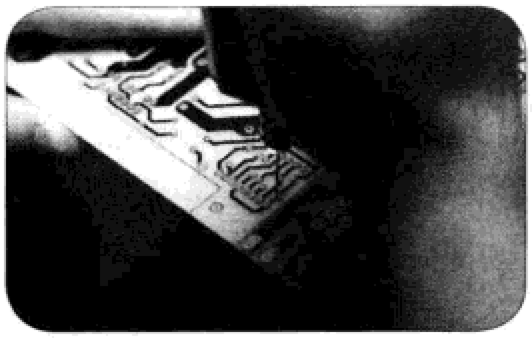


03 蚀刻用的是“蓝色环保蚀刻剂”，常温下腐蚀了将近1小时。试过增加浓度，结果铜箔变成花花绿绿的，而且不再继续反应，应该是钝化了。如果想加快蚀刻速度，可以用温水调配蚀刻剂。

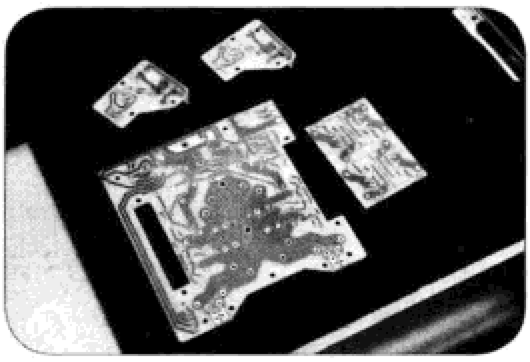
最后完成的PCB。由于有感光膜的保护，不涂绿油也不会担心线路氧化问题了。不过要注意，感光膜比较薄，不耐划，制作中要小心保护。



04 接下来是在PCB上给元件引脚处打孔。

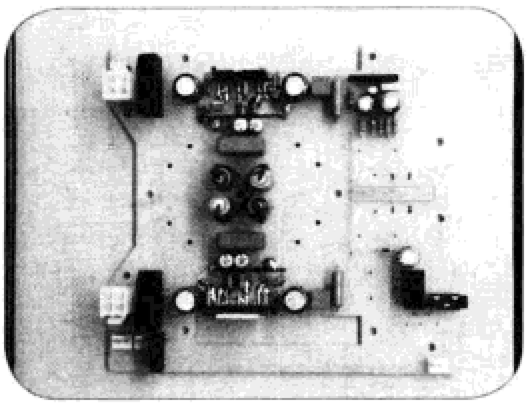


05 最后进行PCB的裁切。掏孔用的是曲线锯，直边用钢锯。PCB边缘用小锉刀倒角、打磨光滑。

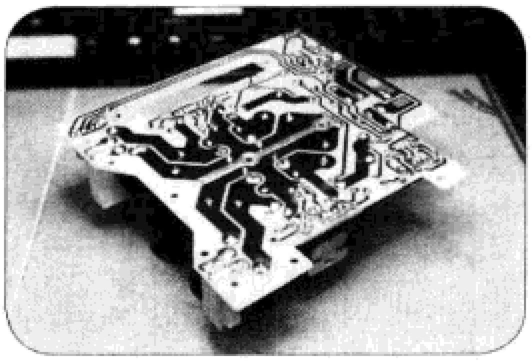


焊接与安装

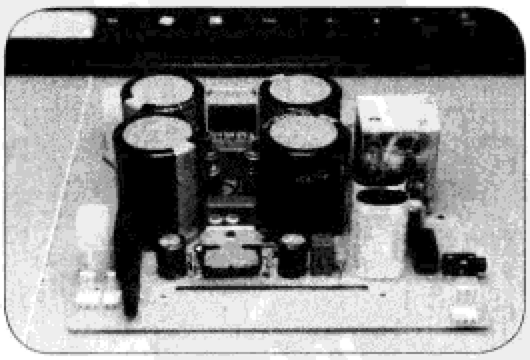
01 开始焊接元件。国产8A的整流桥，反馈和自举采用的是ELNA紫袍无极电解电容，退耦电容用红威玛MKP10和飞利浦轴向电解电容。



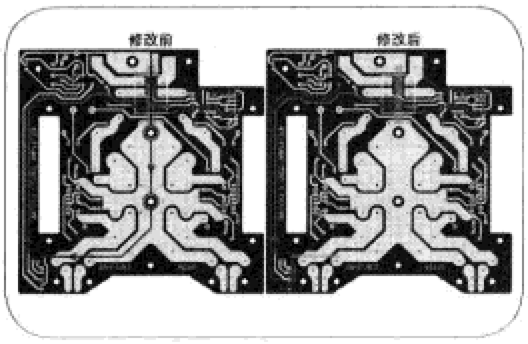
02 焊接技术比较槽糕，还有待练习。



03 主滤波电容找到了刚好适合超薄机箱的30mm×40mm的红宝石10000μF电解电容。



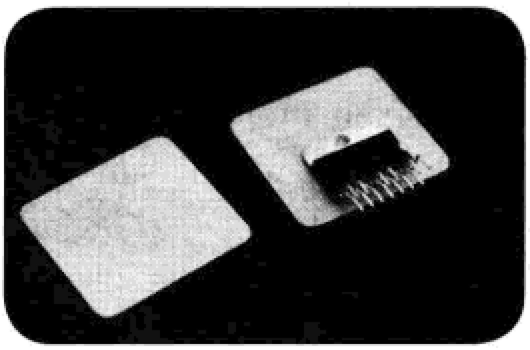
04 制作期间单独测试了扬声器保护电路，工作正常，3秒吸合。但在整机测试时发现有极大的交流“嗡”声，后来发现是保护电路的地线设计不合理。最初的设计是保护部分的正电源从板子侧边走到μPC1237，而负电源是用跳线直接连在放大电路的地线上，这样形成了一个大的电流环。后来将负电源走线改为借用原来给信号切换继电器供电的电路，这下噪声全无了。



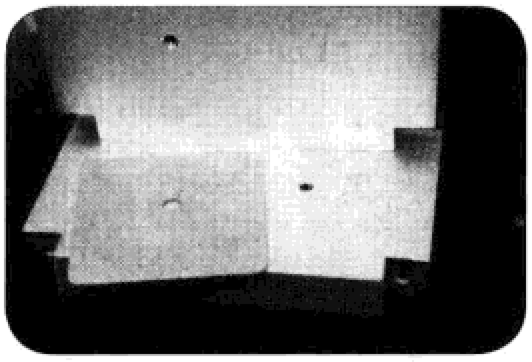
05 音箱端子和PCB的连接片是用0.5mm铜片画好形状，再用剪刀剪出来的。剪完铜片会卷曲，用锤子敲平，然后用锉刀修去各边口毛刺，最后扔进蚀刻液里腐蚀1分钟，表面会变成这种沙金的质感。

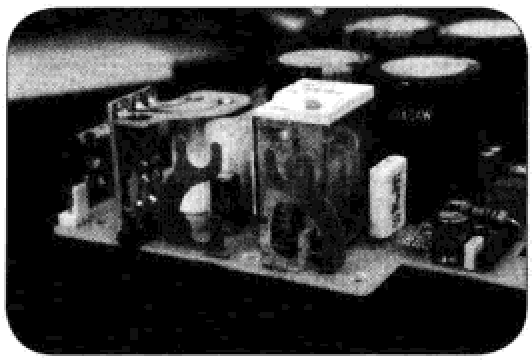
06 将连接片焊在PCB上，裸露部分用热缩管做绝缘处理。输入耦合电容和电位器的安装方式比较特别，整体都是用PCB进行连接。没有复杂的连线，这样比较整洁。信号输入部分，一组输入用RCA，通过3pin插座连接，另一组用3.5mm同轴插座，直接焊在PCB上。

07 接下来是IC散热部分的处理。由于PCB与导热块之间有点间隙，用0.8mm的铜板做了个匀热片。铜板用钢锯裁好尺寸，用1000号水砂纸加水打磨。然后放在蚀刻液里腐蚀1分钟左右，将表面处理成喷砂效果。

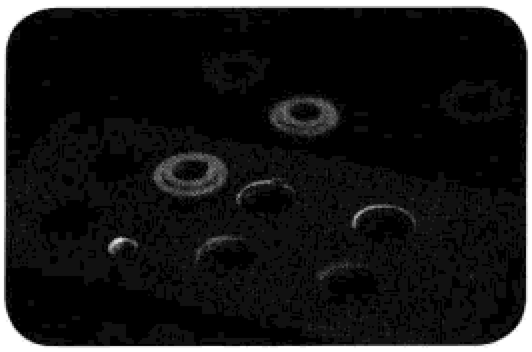


08 导热块是在当地找了家做铝件的小厂定制的，用的是10mm厚铝板，上下两端有些加工刀痕，用钢锉修平后用水砂纸在平整桌面上抛光。IC安装螺孔是先与上好安装铜柱的PCB放在同一平面上，用马克笔透过IC安装孔在导热块上画点，用2.5mm钻头打孔，然后用M3丝锥攻丝。螺口边缘按常规方法，用大号钻头轻轻转几下倒角。

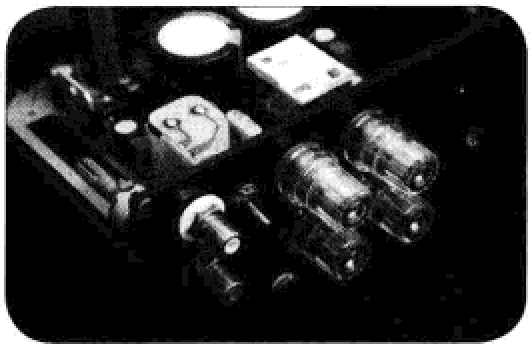




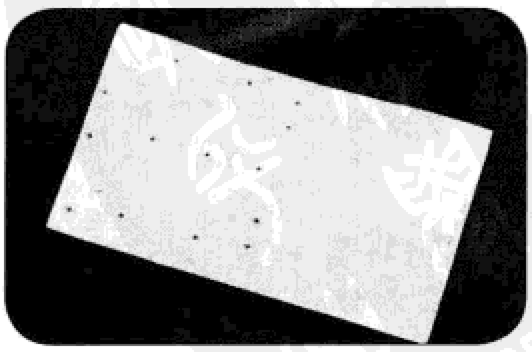
09 购买的CMC水晶音箱端子，安装孔径比机箱预留的孔径大1mm，而且还带防转豁口，只好用小半圆锉和平锉把孔形修整了一下。



10 第一次试装。主要看端子和PCB的位置关系是否合适。

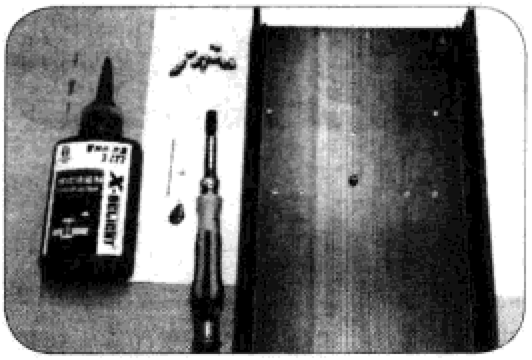


11 然后是机箱的加工。用模型上设计的孔位打印出1:1的图，贴在机箱底板上钻孔。先用锤子和丝锥（手上没有铳子），在孔正中心敲出凹坑。然后用2mm钻头打孔，再用2.5mm钻头扩孔。由于铝件比较软，拿手钻直接用2.5mm钻头钻孔，容易抖动造成孔径偏大。钻孔完毕后用M3丝锥攻丝。手工攻丝时，可以在孔内点一滴食用油帮助润滑，以免排屑不畅，扭断丝锥。



12 机箱底板是2mm厚，能买到的六角铜柱的螺丝，最短也有5mm。而由于机箱内部高度问题，又不能加垫片垫高。所以在螺丝上套上螺母，然后把多余的锯掉，剩下的螺丝长度刚好是2mm。断口用锉打平，把螺母退出来的时候可以当临时板牙，给受损变形的螺纹做修复。最后再稍微修修毛刺即可。

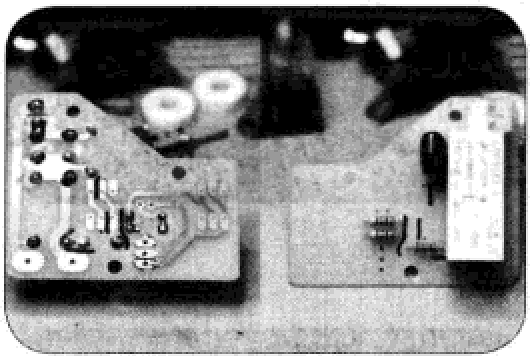
13 在机箱上安装PCB并安装铜柱。那种多头组合改锥我想喜欢折腾的朋友都应该有一套吧，用M5.0六角套筒很方便。加了点螺纹紧固胶，防止拆装PCB时由于上面螺丝锁得太紧，松开时带动铜柱一起转。

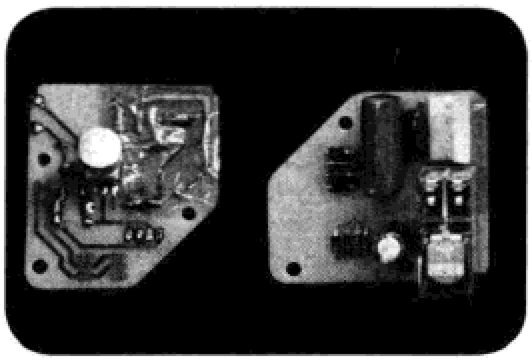


14 第二次试装。主要是看PCB与铜柱、音箱端子与连接片之间是否能对齐。PCB有个别安装孔稍微有点偏差，用小圆锉稍微修一下即可解决。安装螺丝用M3内六角，垫了电木垫片。电木片比较有弹性，可以锁得比较紧。

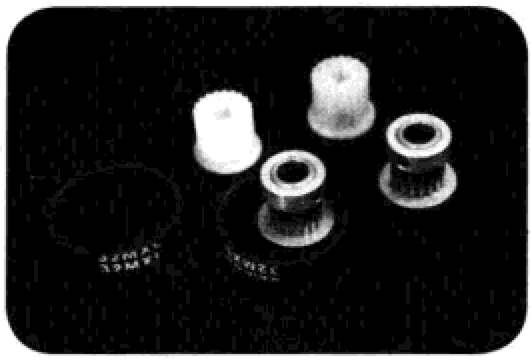
15 音箱端子与连接片。上面两个正极端子用2mm的ABS塑料板做了两个垫片，使上下两组端子的螺母处于不同的平面，方便在狭小的空间里把螺母上紧。

16 这是第一版设计的电源开关电路。有的朋友会问为什么搞这么复杂？其实我也想简单，可惜为了放下更大的环牛，把原本的开关位置给占了，所以只好用这种方式。第一版用的是一个线圈为AC230V的继电器，想直接用小开关来控制，也在论坛上询问过其安全性，大家一致认为低压自锁开关用在220V电路中有很大的危险性。经过大家的出谋划策，加上自己的总结，再综合一些手头上的电子遥控开关的供电设计，最后更改为如前所示的电路并重新制作了PCB。220V高压部分电路用高温胶带贴了一下作绝缘保护。

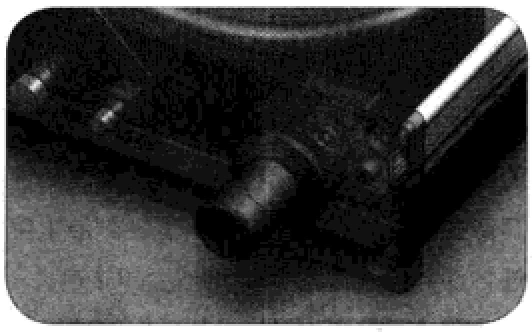




17 最初的电位器延长杆传动机构选用的是同步带轮，可惜由于轮距太近，能买到的最小标准尺寸皮带都过长。没办法，留着以后给别的机用吧。

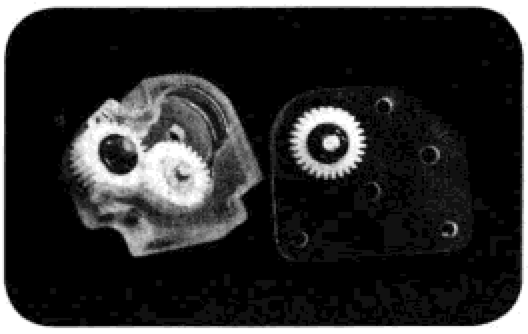


18 后来改用齿轮传动。跑遍北京各大五金市场，最后找到了比较合适的尼龙齿轮，齿宽有5mm，咬合可靠性好。先测量齿轮，然后建模。

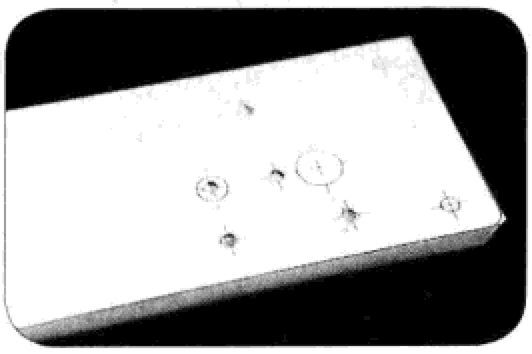


19 用三维模型输出齿轮箱的CAD线框，输入激光雕刻机，用亚克力板雕成零件。

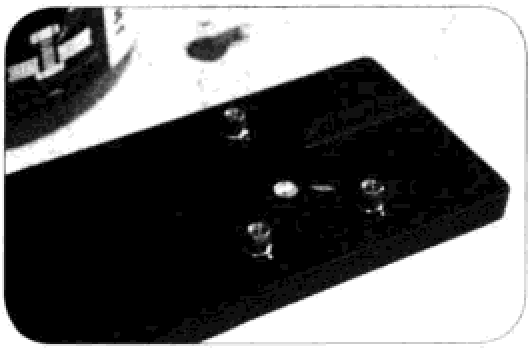
20 用小型车床车了几根齿轮轴，轴和齿轮是紧密配合的。用“安特固”把齿轮箱零件粘起来，装好齿轮，然后上油。为了简化结构，齿轮箱是不可拆的，所以在侧边贴留了开口，方便换油。



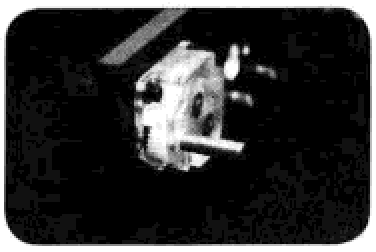
21 面板安装孔还是用设计图贴在上面定位。先钻个坑，然后把纸揭掉、继续钻。面板是8mm厚，慢慢钻到6~7mm深，不能着急，一下钻透了就惨了。如果有台钻就看刻度走，准确度高。盲孔攻丝最好选用三只一套的丝锥，攻出的螺纹更深。



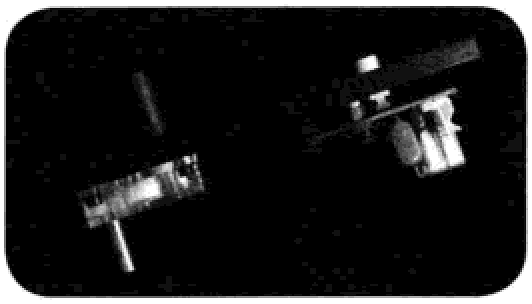
22 忘了买8mm铜柱，只好用螺母垫成7mm的，也还可以，上好紧固胶。



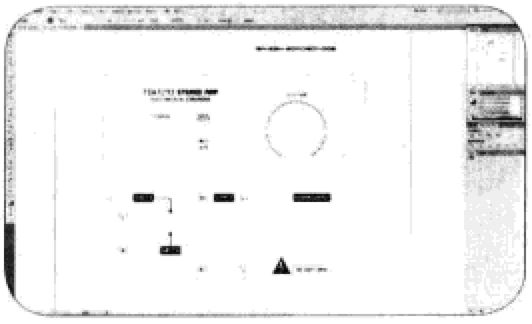
23 齿轮箱试装。转动比较顺滑，手感不错。



24 开关部分电路板试装。

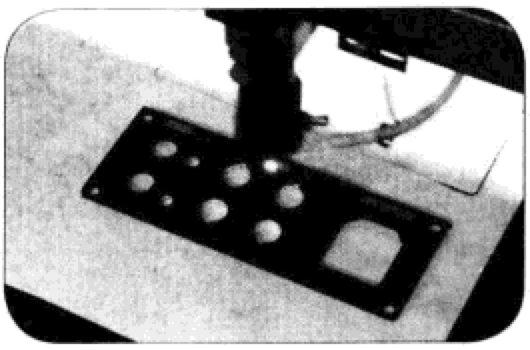


25 前后面板的标识文字，在AI里进行设计。这是当时的截图，后来才发现“made”居然被我错打成“mede”，郁闷。



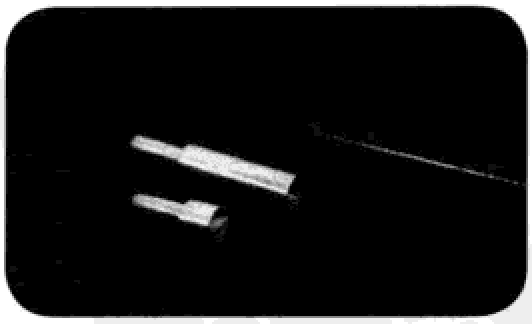
26 用稀料把面板上原来的丝印文字擦掉，然后进激光雕刻机雕刻画好的文件。激光雕刻只适用于有色阳极氧化或电泳着色表面，雕完是黄白色氧化铝的颜色，不太适合银色铝本色面板雕刻。

27 背板的雕刻。

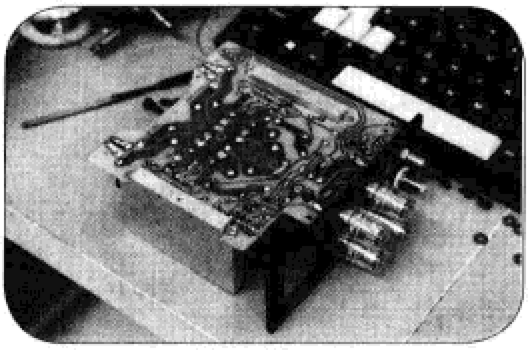


28 面板与背板的完成品。

29 电位器延长杆没买成品的，因为一直觉得金属杆从牛（变压器）旁边过会有感应。期间找了ABS棒、亚克力棒，都觉得它们在导热块后面穿过，长时间高温烘烤容易变脆，而且两者的刚性差，转动会有扭动形变。最后找了根碳纤管，是鱼竿上的一节，刚性很好。然后请同事焊了两个黄铜连接件。

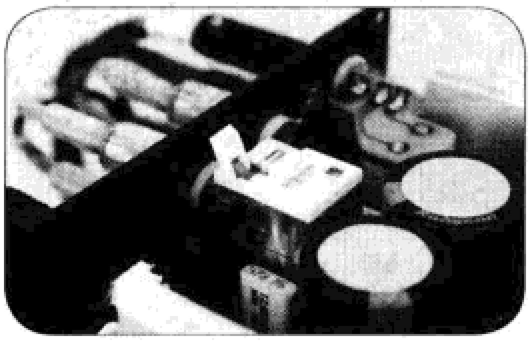


30 零件基本齐全了，开始最后的装配。

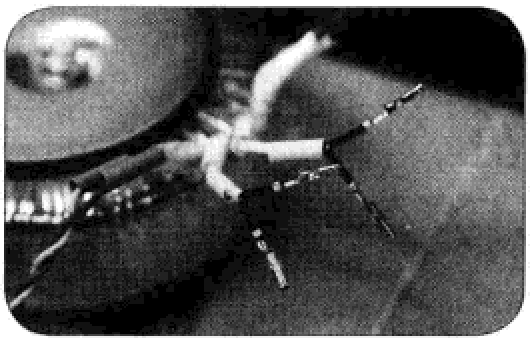


31 通电开声。用了个20W双AC12V的小牛做测试，接上炮灰音箱，音源是电脑。这时的保护电路未通电，手动闭合继电器。先放上音乐，然后轻点一下开关，通电时间极短，如果电路没问题，扬声器就应该直接出声了，电容的余电还能让它再响几秒钟。确认各元件无异常后，就可以延长通电时间了。用这个小牛带着听了半天，导热块只是有点温，低电压的发热相当小。此时中点为左声道0mV，右声道0.1mV，电位器关到底，无噪声、无嗡鸣声。断开输入，电位器开到最大，有一丁点“丝丝”的热噪声。

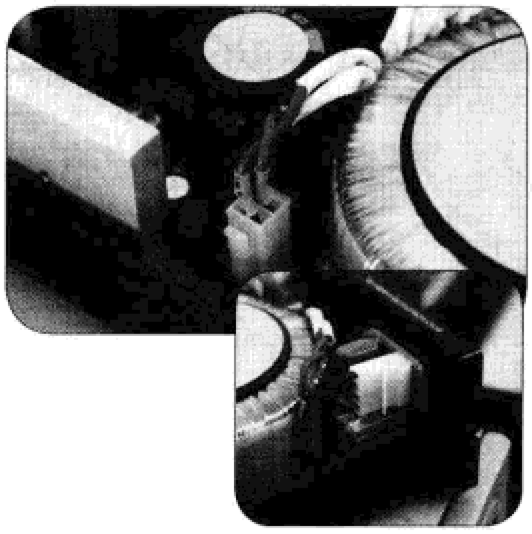
32 主滤波电容的顶部离机箱盖只有3mm，而且新批次没绝缘帽。为了安全起见，用高温胶带贴了一下。



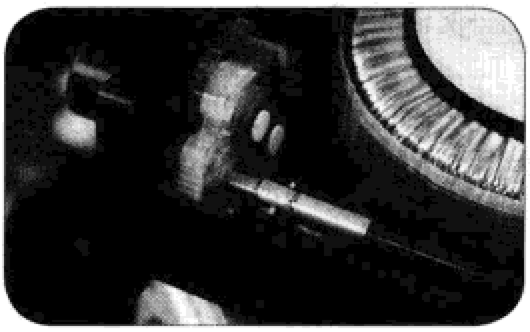
33 定制的四线AC26V，单AC16V的牛，额定功率为150W。对于两声道的TDA7293来说功率偏小，理想的环牛的功率应该是300W左右。但是受限于机箱尺寸也只好勉强接受了。环牛原带的线很长，剪短后压接插头。



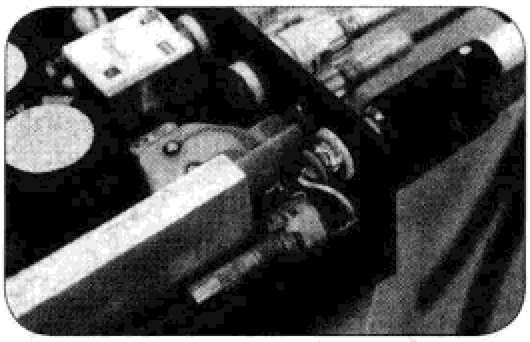
34 每根线分成两股，热缩管分别套好，这是为了增大过流能力，也算冗余设计吧。交流部分走线尽管很短也尽量绞合，降低干扰。



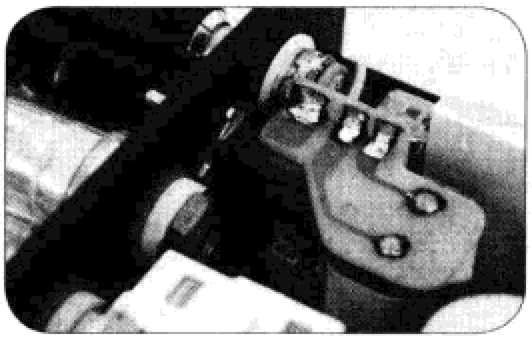
35 电位器延长杆最后的连接处理。黄铜套管开V形槽，轴柄上敲入2mm粗的销钉，这样在安装面板的时候，销钉会自动被引导入V形槽内。



36 电位器外壳离机壳较近，用胶带做绝缘处理，防止地线环路。两个RCA座用粗铜丝绕一圈后焊死，防止插拔莲花插头时打转。

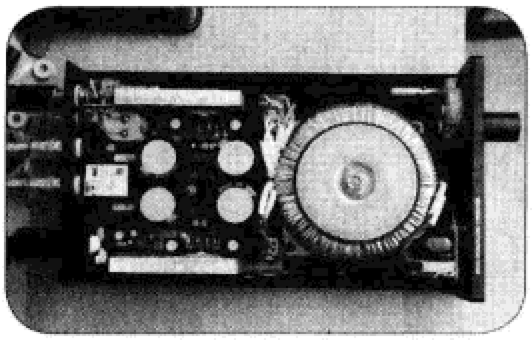


37 由于前面改动保护部分走线，占用了信号切换继电器的线路，所以临时改为手动音源切换。在原来焊继电器的位置焊上两个3针插座，连接拨动开关。

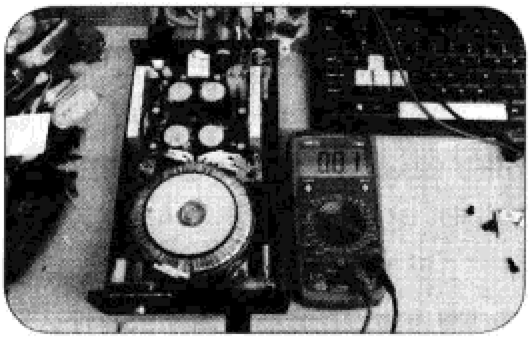


38 电路部分与市电和机壳接地采用的是直接接地。电源插座焊接出线，然后用硅胶密封了一下。

39 整机装配完毕后通电，还好，没烟花。噪声控制得还可以，贴在扬声器上有一点点交流“哼”声，离开几厘米就听不到了。应该是牛挨得太近的缘故，可惜没有找到尺寸合适的牛罩。



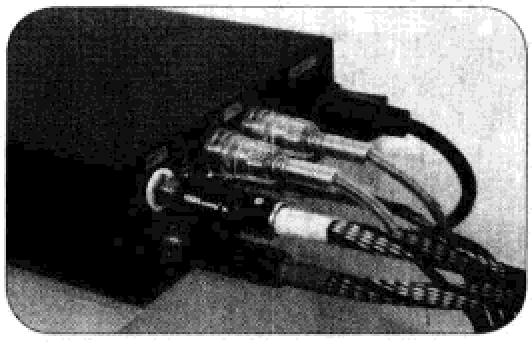
40 只要元件参数和接线无误，集成电路功放的制作成功率是很高的，基本不需要调试即可达到比较理想的工作状态。用万用表直流200mV挡测量输出端，中点偏差在0~0.1mV。



41 导热块上涂好导热硅脂，安装好机箱顶盖，一般音量下工作半小时，室温25℃环境下表面最热处的温度在35℃左右，大音量时会达到45℃左右，基本符合要求。

42 最终完成品。

43 接好线，开始正式试音。



44 试音环境简介。

空间：15m^2 书房，木地板 + 中间一块地毯，后背整墙书架，左侧厚落地窗帘。
音源：创新 X-FI MUSIC 声卡（0460），win7 64bit 驱动
音箱：天朗 S8LR，8 英寸同轴
信号线：自制，佳耐美 4 芯屏蔽线 + 雅宝 GY-3.5GB 插头 + 雅宝 RCA-007GB 插头（2.5m）
音箱线：自制，雅宝 GY-180A + SC:03B-L 香蕉头（1.8m×2）（另一对怪兽线 + 百威头）
电源线：电脑用普通 3 芯线
媒体：无损压缩音轨，FOOBAR 2000 + 终极解码 2011

试音用的都是平时比较熟悉的曲目，如：电子贝多芬最后一轨，1812 序曲 TELARC 第三版，老虎鱼的第一张专辑第 7 轨，还有很多爵士乐和流行乐等。总的来说，就是 TDA7923 的典型声音，高频解析还可以，中频很暖，这可能和号角单元也有关系，低频下潜不错，但力度不是很大。有人说 TDA7293 是“胆味 IC”，其实主要是因为这款 IC 的转换速率不是很高，声音的密度感较弱，属于比较柔和的类型。

至此整机制作完毕，希望制作中的一些细节能给大家的 DIY 提供参考，在此也感谢所有帮助过我完成这台机器的朋友们。

制作一款体积小巧的功放

◎梁文志

最近在书房中添置了打印机，原来使用的50W B类放大器，因个头太大，只能下岗了，再加上也想换个口味听音乐，于是决定制作一台体积小巧、功率在100W以下的功放。

功放的外壳是外买的全铝机箱，生产厂家已经加工好，自己不用再进行深度加工。

功放电路采用的是M7套件，电路如图1所示。PCB已经将整流、滤波和两个声道的放大电路做在了一起。一体化的板子使得制作非常轻松，这个功放的制作过程也显得格外的顺手。

元件选择

由于是购买的套件，大部分元件不用自己采购，比较省心，但套件中不带储能电容和输出管，所以这两种元器件要自己选择。滤波电容的耐压起码要比变压器变压整流后的电压大一些。这里我使用50V耐压、10000μF的电容。如果使用6800μF、12000μF容量，声音都不会有太大变化，毕竟真正的实际有效输出功率不大于20W，所以10000μF有足够的余量。

输出管使用NJW1302/3281，它们是安森美公司生产的。NJW1302/3281和MJL1302/3281性能类似，但NJW1302/3281价格要低。

变压器功率为150W，大电流双22V和小电流12V的。双22V给功放电源，12V给扬声器保护电路，这个是肯定的。双22V是变压器2次绕组的开路电压，整流、滤波后（使用全波桥式整流）的电压为V_L=1.2V2=1.2×22V=26.4V。这个理论值和实际值相差极小。

熟悉PCB

我有个习惯，就是每次拿到套件后，会对着PCB空板琢磨一番，也许很多用套件制作的朋友也有这个习惯。通过观察和琢磨PCB，可以熟悉一些重要的走线和路径。这次套件的PCB是黄色阻焊层，两层的线路比较清晰，在光线比较好的地方，无需使用台灯照射就能清楚的看清两面的走线。若换成蓝板或黑板难度就大多了。通过目测，发现扬声器保护电路有一个10mil的铜层就像磕了一样，只有极小的一点铜连着，幸好不是信号走线和电源走线，还有就是有些焊盘和过孔没有对准，几乎所有的过孔都有些偏移，由于偏移得不多，所以不会对功放有什么影

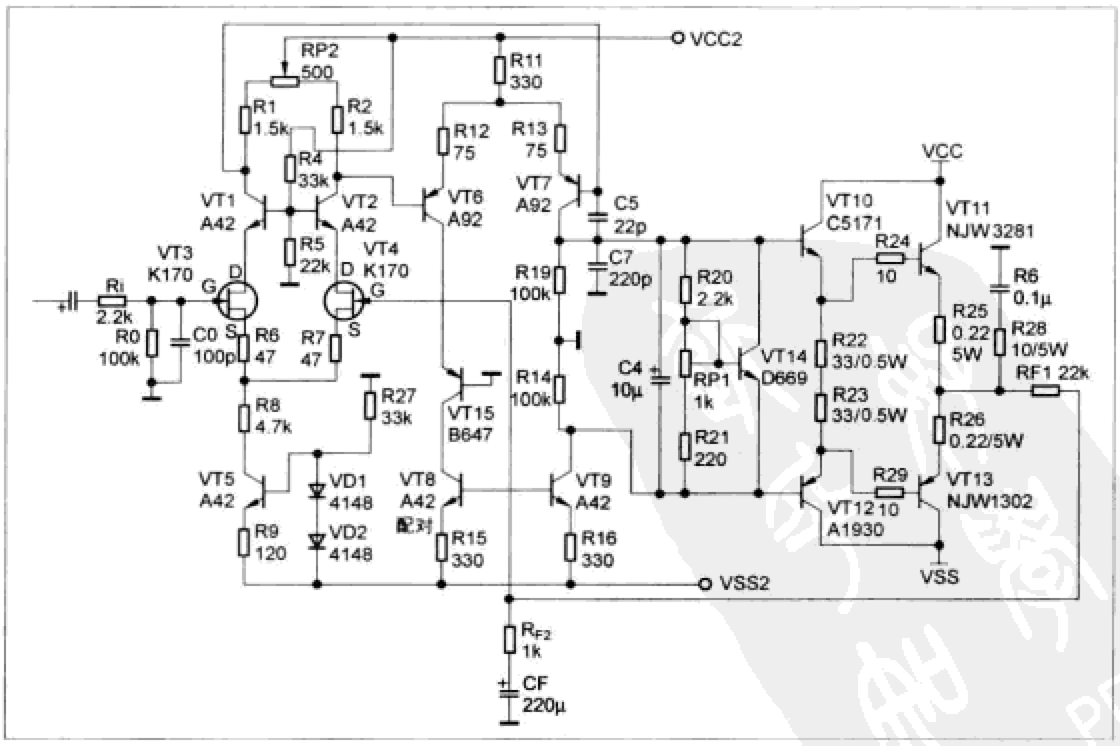


图1 电路图

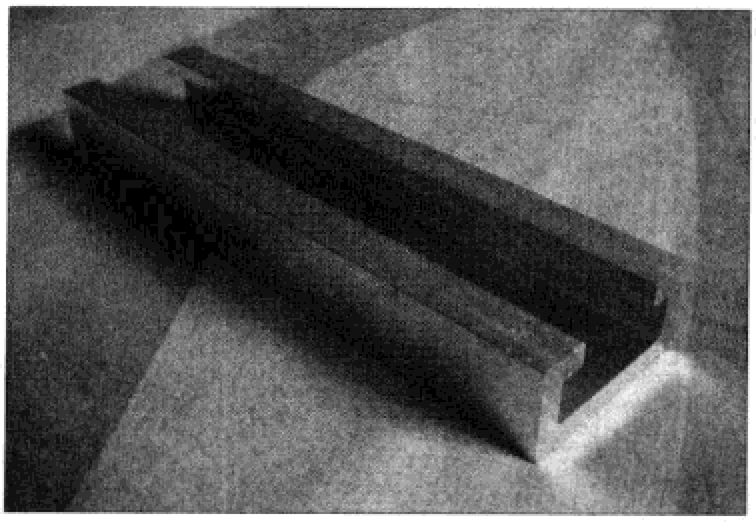


图2 导热桥

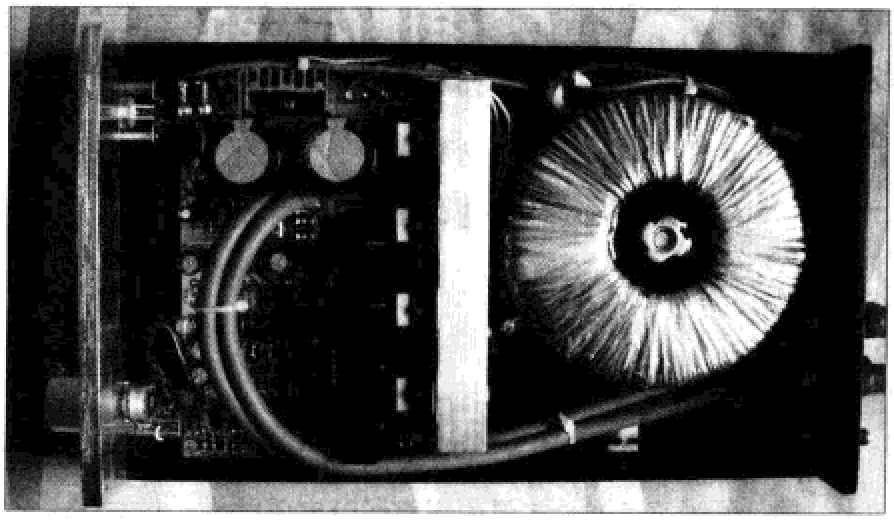


图4 内部布局

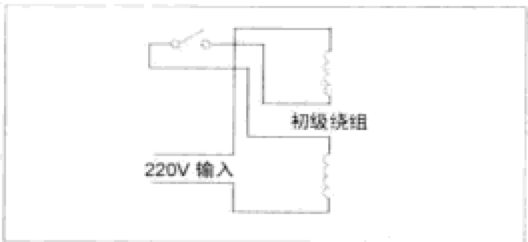


图3 变压器连接图

响，这些都是生产工艺造成的，在此就忽略了。交流电源的地线较细，在长时间大功率工作时可能会发热，但由于实际连续输出功率一般不大于20W，所以还不算问题。但对于设计成能驱动两对200W功率管的功放而言，这电源的地线真还有点细。交流电源的AC1与AC2倒是挺宽的(AC1、AC2为自定义名称，即连接整流桥的两个交流输入端)，并都做了镀锡处理，而且AC1、AC2引线到整流桥的引线较短。我认为做得不错。

根据电路图可知，输出信号是通过两个0.22Ω的功率电阻提供的，对照PCB上的功率电阻位置可以发现，两个0.22Ω电阻接在一起，从中间引出一条宽线就是输出端。但引出的这条线距离两个0.22Ω电阻是不一样长的。这使得上、下臂电阻不平衡，引起功放性能下降。虽然布线很宽，但对于信号的终端输出而言，还是有点细，并且没有做镀锡处理。由于0.22Ω的输出电阻要经过继电器输出，使得它的走线又很长，这使得导线电阻会较大。由于实际的输出功率一般在20W，所以还不会对其性能造成明显影响。其他倒是没有太大问题。总之在我们设计布线时要多加考虑。

焊接过程

焊接过程没必要叙述，每次焊接前，我都会用细砂纸对每个元件引脚进行打磨，以保证可靠、稳定的连接。焊接的顺序是先小后大、先低后高。焊接完毕后接上电源和假负载（50W/8Ω电阻）进行测试。

在目测元件装接没有问题的情况下，通电后迅速拔掉电源，检查有没有发热现象，如果没有，再进行二次通电。没想到，在二次通电的时候，一个声道的三极管B647发热异常，于是迅速断电检查。经过一番目测，没发现装错的元件。分析电路，若其他三极管短路也会引起B647发热。用万用表检查每个三极管有无短路，最终是发现有一个三极管正向电阻和反向电阻均为零，由此判断三极管损坏了。将三极管拆下来，发现引脚1和2上挂满了焊锡，由此造成引脚1、2短路了。这时三极管可能没有损坏，造成引脚1、2短路可能是由于焊接时加热时间过长引起的。真没想到焊接中还会遇到这种状况，又长了经验。由于卖家设计的PCB中的三极管是引脚距离较近封装的那种，所以才引发了上述状况。将1、2脚焊锡处理后，小心焊接上三极管。通电测试，一切正常。

机箱布局

机箱内空间较小，散热器尺寸较小，散热效果不好，于是想起了这种导热桥，其外形如图2所示。将这种导热桥固定在机箱底板上进行散热。大家都知道热是向上走的，所以使用这种导热桥显然不是那么理想，处于无奈也只能这样。为了减小发热量，调低了静态电流。

装配工作

将220V的插头插进功放后，高压要特别注意，安全意识的降低可能会造成严重的后果。我的变压器是双110V输入的，即4根线，我将其中两根接了开关，另外两根接电源插头，并套上热缩管，使人体不会接触，其具体连接方式如图3所示。在安装时发现功率输出管与环形变压器太近，这样可能会产生噪声。不过在开机后，耳朵贴近音箱，旋转变压器角度也能减轻噪声。安装完成后效果如图4所示。

通电进行测试时，先将机箱的盖子放在一边，放音并观察着各个元器件有无异常，通电后，我共测试了两次，每次约2小时。当确定没有问题后，合上机盖，拧上螺丝，装配工作就全部完成了。

试听音乐，效果不错，现场感极强，相比原来的功放，体积小巧得多，达到了预想的目的。

用6C16制作靓声耳机放大器

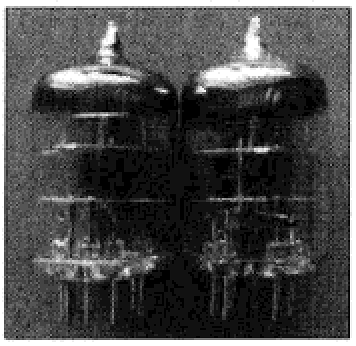
◎林召春

6C16是一只旁热式氧化物阴极三极管，具有高跨导、低噪声特性，主要用于宽频带电压放大。其主要参数为：阳极电压为150V，阳极电流为24mA，跨导(S)为24mA/V，噪声系数为1.5dB。

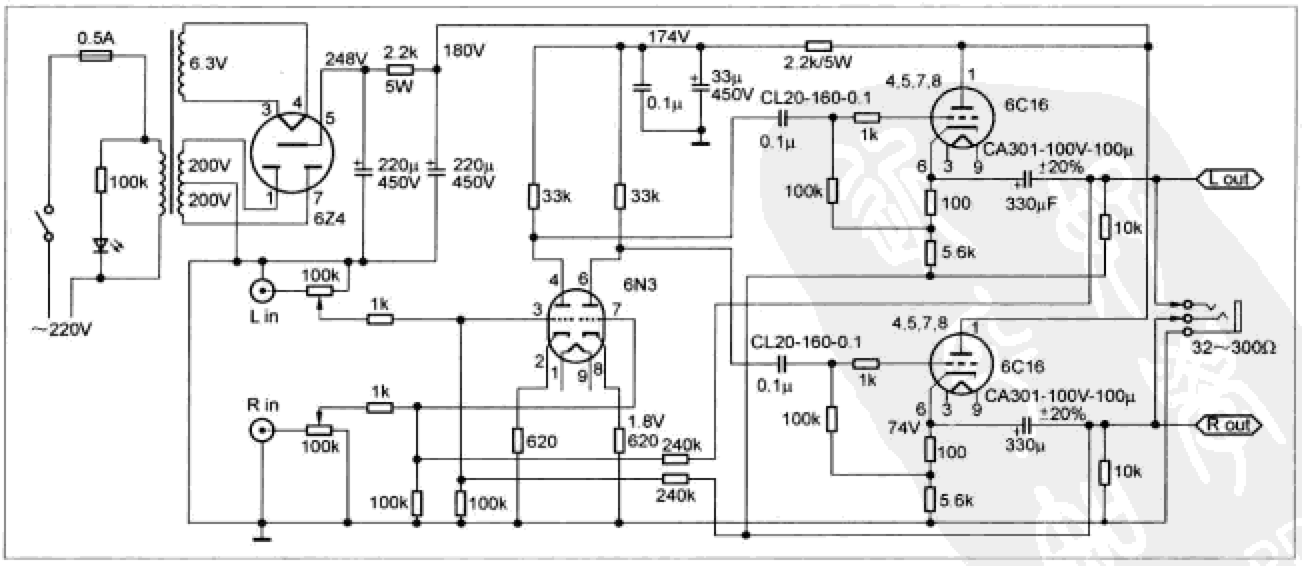
电子管放大器输出阻抗很高，必须使用输出变压器与低阻抗负载进行匹配。作为高保真胆机放大器，要想获得好的放音效果，最好配备高品质输出变压器，这也成了胆机功放的主要成本之一，也是胆机不能小型化的主要因素。电子管跨导越高，输出阻抗就越低，因此，如果想省去输出变压器，高跨导的电子管无疑是制作低阻输出功放的最佳选择。用高跨导电子管制作低输出阻抗放大器，不但可省去输出变压器，降低制作成本，使胆机小型化，更由于去掉了对音质影响最大的输出变压器，可使性能进一步提高，音质得到进一步改善。

电路设计

根据经验，电子管用于阴极输出时，其输出阻抗为跨导的倒数，由计算得知6C16用于阴极输出时，其输出阻抗为41.67Ω。电路中加上环路负反馈，输出阻抗可进一步降低，用于推动32Ω以上耳机，应该是可以实现的。常用电子管中，除6S6跨导为34mA/V外，6C16也是为数不多的高跨导电子管了，但6C16管用于胆机的实例确是很少，用于直接推动低阻负载的少有先例（笔者从未见过），究竟能否成功笔者也心存疑虑，只好先试验确定。本着这个思路笔者进行电路设计，为保证输出功率，决定加一级中μ管的推动级，经分别用手中6J1、6N16B、6N3三种管子搭接电路试验后，最终选定了用6N3与6C16组合，6N3管子胆味浓郁是烧友公认的，经试验后效果也是笔者最满意的。电路图中所示的直流电压均为实测值。6C16阳极与阴极间电压为106V左右，阳极电流为13mA左右，栅阴电压为-1.3V左右，与手册符合。



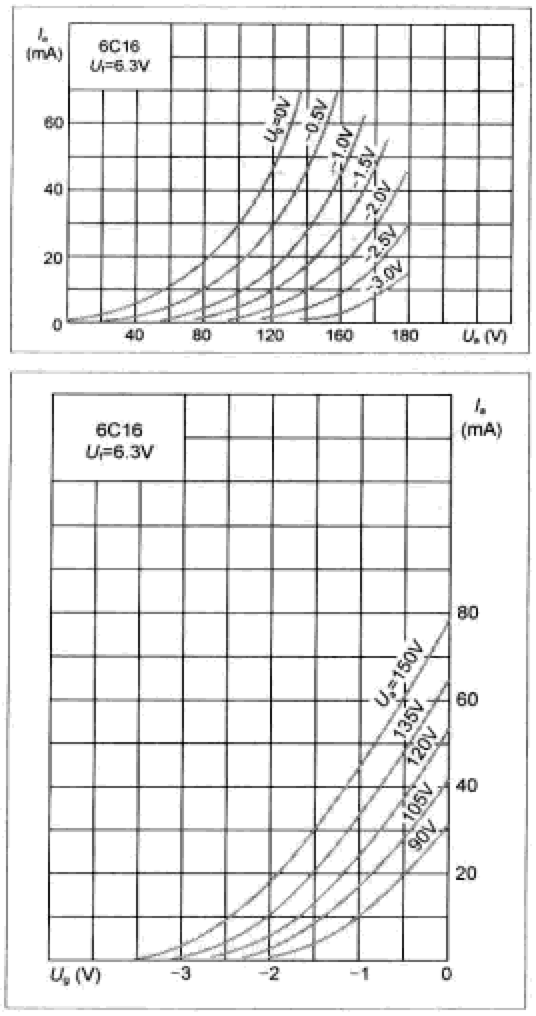
6C16管的外形



耳机放大器电路图

元件选取

经过网上搜索和比对，最终选择了价格只有35元的全铝机箱，机箱尺寸为：16.5cm（长）×11.5cm（宽）×3.5cm（高）。



6C16的特性曲线

电源变压器选用的是40W胆前级专用变压器，次级输出为双200V和6.3V输出。6N3、6C16及整流管6Z4均选用J级品，除电源滤波电阻外均为2W大红袍和五环金属膜军品电阻。为减小体积省去了滤波电感，电源滤波电路使用了两只2.2kΩ/5W的水泥电阻。耦合电容采用的是军品电容：2只CL20-160-0.1型的，2只CA301-100V-100μF±20%型的，滤波电容用的是KMN型电解电容和0.1μF的CBB电容。

制作与调试

首先是机壳加工，经过一番实物测量后，进行打孔，细节不必细说了。

将体积较大的220μF/450V滤波电容，用705硅橡胶固定于机壳之上，内部元件均采用搭棚焊接的方式，布线尽可能短，元件及布线尽量避免平行排放，并采取一点接地。

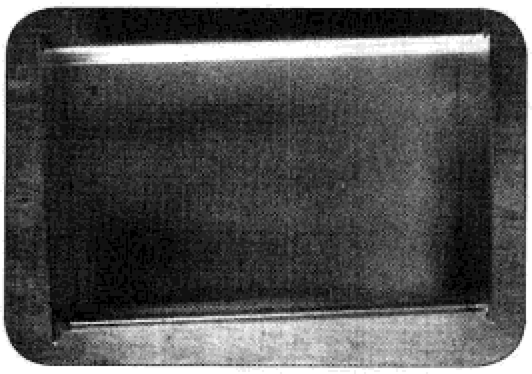
按图纸焊接后，检查无误，即可通电，本人一次安装成功，并没有进行任何调试。

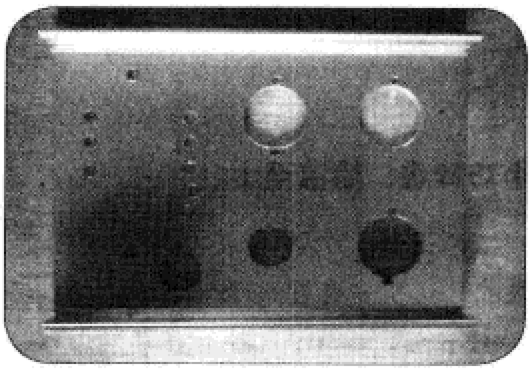
试听效果

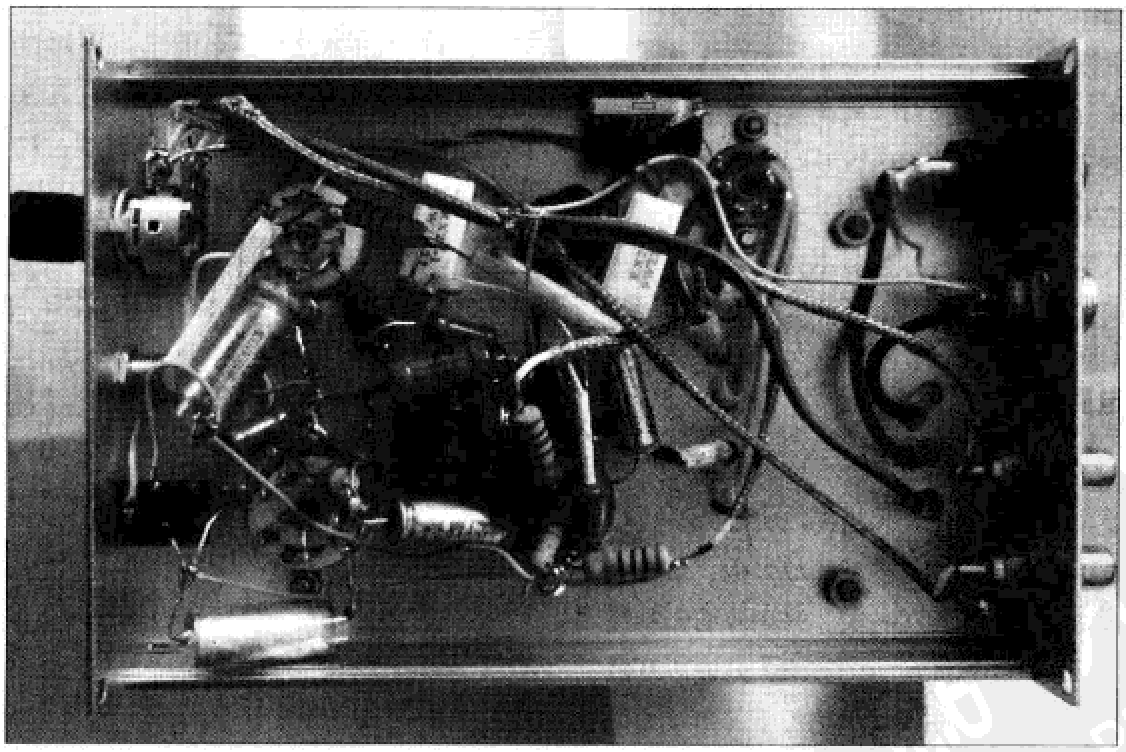
加电后，在不打开CD电源的前提下，逐渐将本机音量从最小加到最大，耳机中无任何噪声和交流声，可以说是静如死海一般，这当然系元件排列合理的关系。听一盘邓丽君的CD，声音入耳顿时感到一种从未有的清新、柔美之感，简直是妙不可言，笔者只能称之为靓音。再换蔡琴的《渡口》，惠威试音碟中的低音试音曲《两千年等待》以及笔者喜欢的古筝曲等，各种风格CD，感觉低音强劲而有弹性，中音柔美而丰满，高音清澈透明。笔者听过、也亲手做过中档胆机，音质如此之纯，如此之靓确实少见，如果说几千元中档机与本机的效果不相上下，也一点都不为过。本人使用的是32Ω低阻耳机，放音效果和音量非常满意，自信已达到设计要求，也同样适合其他大于32Ω的低、中阻耳机使用。本机除用于推动耳机外，还可充当胆前级使用。

好马配好鞍，一副好的耳机也是必不可少的，可根据个人经济情况选择，本文不予推荐。当然新耳机也需要煲噢，可使用粉红噪声，也可以用调频收音机调到无台处，用其噪声煲机，具体方法参阅有关资料，这里不赘述。

当然，耳机放大器虽然效果非凡，但用耳机欣赏音乐，时间不宜太长，不然会影响听力。

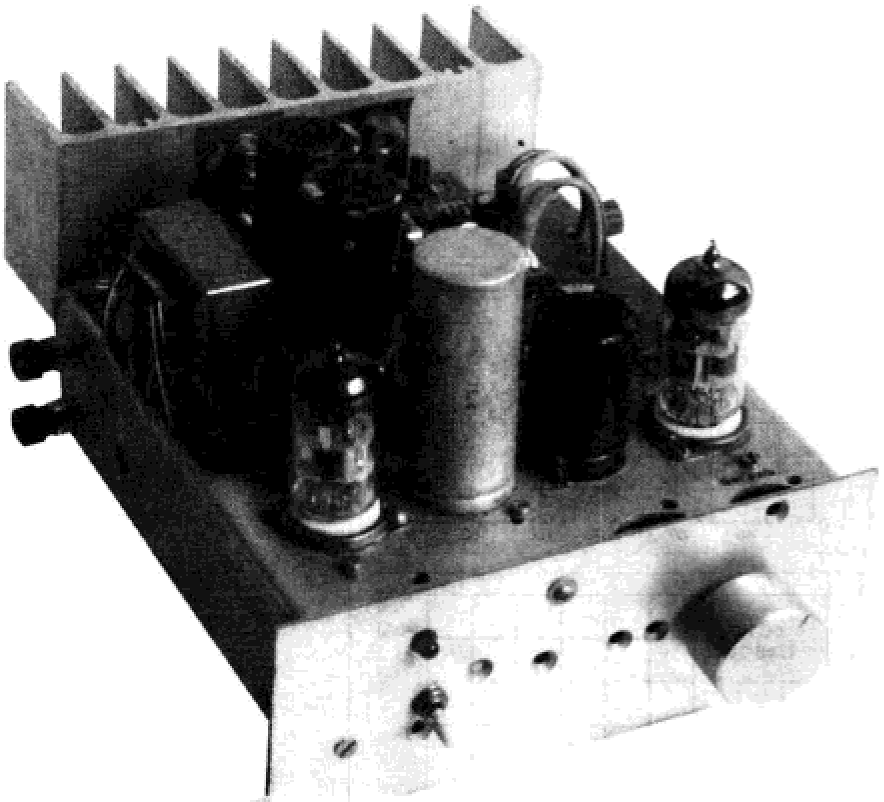

机箱外形


打好孔的机箱


焊接后的效果

◎张全定

小巧玲珑的胆石放大器



胆石之争由来已久，谁优谁劣谁都无法也不可能说得清楚，但各有优势却是不争的事实，胆声悦耳动听，甜润厚美，石声动态凌厉，刚劲有力。如能将两者揉和在一起，使其优势互补、各展所长岂不是一大快事？正是基于这一理念，笔者近期制作了一台前胆后石的小功放，你可千万别小看它个头小巧，它的声音足以使你着迷，就是对音质、音色非常挑剔的音乐爱好者，听了后，也不得不暗暗叹服其出色的表现。

小巧玲珑，简洁至上

这正是广大发烧友及爱乐者所追求的，该机安装在一个160mm（宽）×200mm（深）×60mm（高）的铝质底盘上，和一只饭盒差不多，如题图所示。采用胆机特有的裸露形式，这在目前我等动手派制作的机型中还较为少见，它并不华丽，更谈不上豪华，但摆在那儿却另具一番风味。特别放在卧室，当夜深人静之际开启电源，橘黄色的灯丝以及开关上边那只红色发光二极管所映出的光辉，足以将人带入另外一重天地，使你不知不觉地步入音乐殿堂，享受音乐带来的无限魅力。

电路特点

电路原理如图1所示，只画了一个声道。要说明的是，该机的后级部分，也就是石机部分是购买的成品放大板，该放大板做工精良，用料扎实，采用双面印制线路板设计，连同电源的整流、滤波以及散热铝板都集成在一块电路板上，用了大电流的高速整流硅桥，滤波采用两个红宝石10000μF大水塘电解电容，为放大级提供纯净的正负双直流电源。放大电路使用了两片集成电路LM3886。该集成块为美国国家半导体公司于20世纪90年代研发的优质功率放大集成电路，此IC在音响方面应用较广，它能够在20Hz～20kHz频率范围内、在4Ω的负载上得到60W的连续平均输出功率，而总谐波失真不超过0.03%。具有动态安全工作区保护，其保护电路能够在输出端防止过压、过载，对地短路、热失控和瞬时峰值等。同时还提供非常出色的高达92dB的信噪比，典型噪声低于2.0μV，此时线性度可达0.004%。总之，该IC各项性能较为优秀，完全达到对音乐重放高水准的要求，在初问世的数年里名噪一时。就是在Hi-Fi非常普及的今天，它仍然在音响领域占有一席之地，例如在多媒体有源音箱的音频放大部分，千元左右价位的音箱，非LM3886莫属。而且笔者发现，和它搭配的音频前置放大部分大都采用运算放大集成块，如NE5532之类。做出的箱子虽然还不能和Hi-Fi系统相提并论，但在多媒体音箱、卧室音响以及家庭背影音乐系统中，如能用LM3886做功率放大，那就属上品了。笔者正是受这一启发，萌生了前置放大部分用胆管，而功率放大用LM3886的想法，而且在网上看

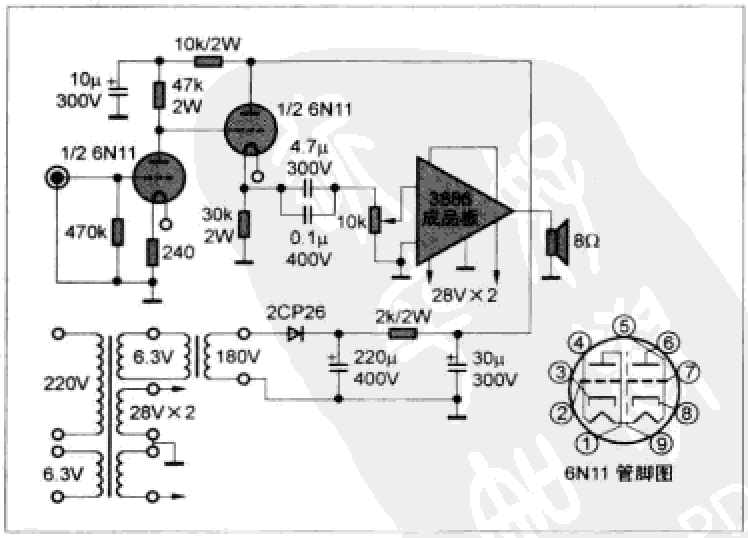


图1 电路图

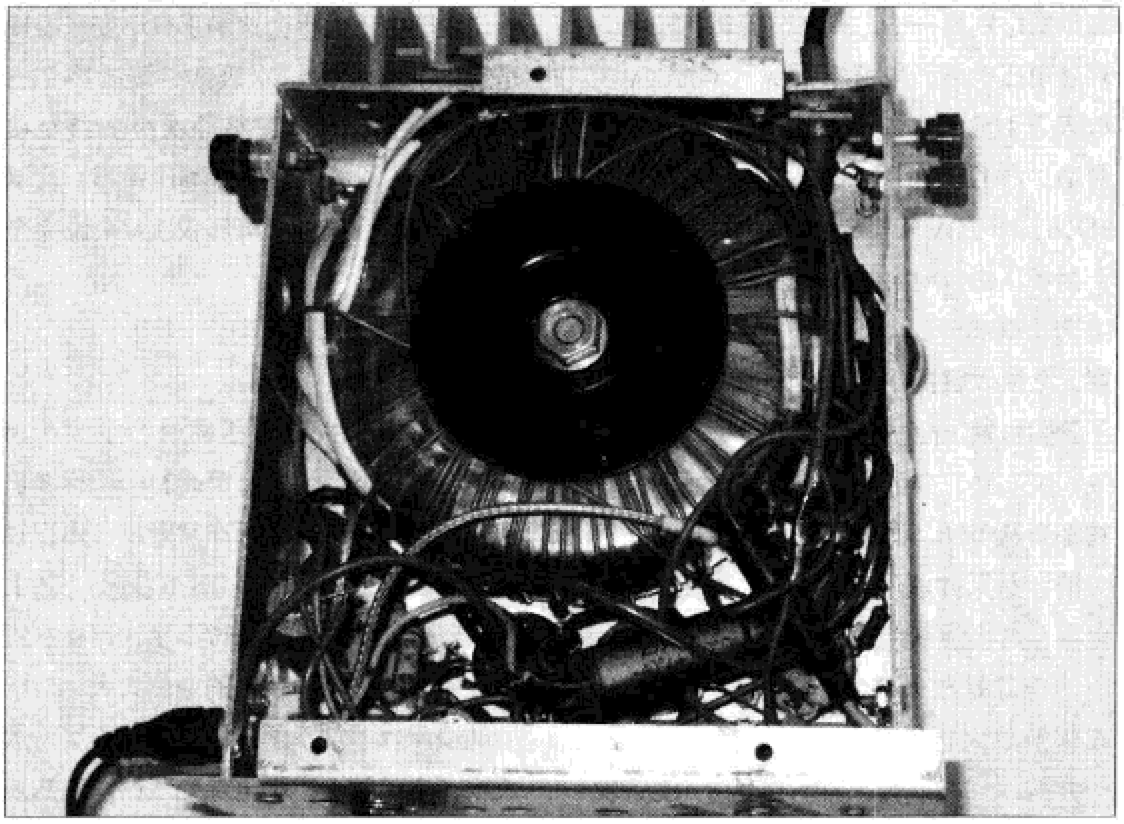


图3 布局

到，目前用LM3886制作的双声道放大板非常多，同时也相当完善，拿回来只要按要求接上双交流电源、音源及音箱即可工作。对于爱好者来说，起码免去了对功率放大部分安装、调试之苦，所以，现今的DIY派真是省事到家了。

笔者的这款制作，由于放大板是成品，厂家已调试就绪，故这里就不再多费笔墨，只简要地谈谈前置放大级的具体制作。

前级出声、后级出力已成为广大发烧友的一致共识，前级看似简单，但其重要性远远大于后级，出声的确容易，但要出好声绝非易事。这里首当其冲的是选用什么放大器件，是晶体管、运算集成块，还是电子管，经一番权衡之后，笔者毅然决定由电子管来担当此重任，这是因为：（1）电子管电路简单，装配和调试都非常容易；（2）输入阻抗高，输出阻抗低，可轻而易举地使信号源和后级达到最佳匹配；（3）电子管电源电压较高，使整机动态更加宽阔；（4）电子管可柔化数码声，使终端音色更加圆润动听，耐人寻味。这也是笔者经过实际聆听以后得出的结论，LM3886放大板到手后，曾和家里的一台胆前级驳接，这台前级笔者曾在本刊2009年第8期以《胆石后级皆宜的缓冲胆前级》一文做过介绍。这次制作只是在原有基础上做了一些改进，原机用的6N3改为6N11。高压整流采用半波整流形式，据一些发烧友讲，半波整流能使胆味更浓。笔者虽然不敢对这一结论冒然持肯定态度，但机壳小巧，采用半波整流显然要比用桥式整流少用几个元件，半波整流只用一只晶体二极管即可，电路要比桥式整流简单得多，这对狭小的机内空间相对好安排一些。另外实测此前级高压电流仅十多毫安，同时，细心的读者可能会发现，整流后的第一级滤波电容用了高达220μF的进口优质电解电容，使交流纹波系数以及内阻降到最低，所以这里用半波整流完全能够满足整机设计要求。

还有一点，笔者没有将音量控制电位器安排在输入端，而是放在前后级之间，这样安排的主要原因是：（1）充分发挥电子管的放大作用，音源进来的信号不加任何衰减，使电子管的放大潜力发挥到极致，因而胆味更加浓郁。（2）有效降低整机噪声，电位器的连线较长，越靠前则拾取噪声的灵敏度就越高。实践证明这一措施的确奏效，开机后不送信号，将音量开到最大位置，即便是将耳朵贴近音箱，也几乎听不到噪声。

由于LM3886放大板的增益已经做得很高，所以对前级放大倍数的要求并不是很严格，10倍就已足够。这一胆前级的第一级用共阴放大，它的输入阻抗高，这对提高整机动态以及和信号源合理配接十分有利，这一级有一定的电压放大增益。第二级做成阴极跟随器，它虽然没有电压放大作用，但电流增益提高了，因而驱动后级的能力大大增强，况且，阴极跟随器的最大特点是输出阻抗很低，这就和后边的晶体管放大级完全实现最佳的阻抗匹配，使整个放大系统也处在一个非常理想的环境之中，因而该机能发出迷人的声音，也就成了顺理成章的事了。

元件选用

电子管用国产管6N11（国外型号为6DJ8，ECC88，6H23П等），见图2。该管属于旁热式阴极高频双三极管，主要用途为低噪声高频电压放大，20世纪60至70年代16英寸以上电子管黑白电视机的高频头本机振荡多用此管，现在用在音频领域，其频率特性不言而喻，特别是中

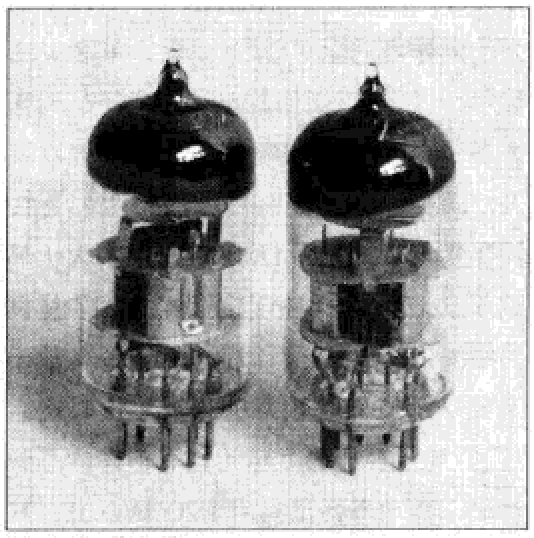


图2 6N11电子管

高频更是别具一格。加之该管功耗较小，灯丝电压6.3V，电流340mA，屏压90V，放大系数适中，μ=27，用在这里较为合适，况且笔者手头有数个6N11和美产6DJ8，一直没有机会使用，这次恰好派上用场。耦合电容的重要性人所共知，这里选了瑞典ERD4.7μF/300V绿色薄膜电容，之所以容量用到这么大，主要考虑电子管阴极输出阻抗特低，为了提升低音效果，经实践，用到4.7μF最为合适。但事物都有两重性，低频饱满了，高频却略显欠缺，故又并联了一个0.1μF/400V薄膜电容，这样频率特性明显向两端延伸。

电源是放大器的基础和核心，笔者在邮购放大板的同时，连同电源变压器一并购入，按照商家推荐选购了160W次级为双28V的环形变压器，整流滤波后的直流电压为±36V，这个变压器是专为LM3886放大板配套的，现在要解决的是电子管的供电问题，环形变压器除漏磁小、效率高等优点外，还有就是改制非常方便。经过计算两个6N11胆管的灯丝和高压加起来所消耗的功率也不过数瓦，对于160W的电源变压器再增加这一点负载的确算不了什么，所以，笔者用多股细胶线直接在环形变压器上加绕，经实测，每伏为4圈，加绕了两组26圈即两组6.3V的线圈。一组供两个电子管灯丝用，另一组笔者手头恰好有一只4W的小型电源变压器，题图中放大板旁边的那只小变压器便是它。初级220V，次级9V，现在将初、次级倒过来使用，即将原次级9V绕组接在6.3V上，原初级线圈做高压备用，实测高压150V，对6N11屏压仅90V来说完全够用。

装配与调试

笔者在装配这台机器时，主要考虑的是整体布局，也曾打算装在一个标准机箱内，但由于该放大板非常紧凑，体积较小，印制板面积仅80mm×100mm，加上这次安排的胆前级也占位不多，用标准机箱除了浪费，箱内多余的空位太大，对以后的使用也非常不便。所以笔者干脆将放大板、电子管、小型电源变压器以及滤波电容以裸露的形式安装在一个和我们平时使用的铝饭盒大小差不多的一个铝制底盘上，环形电源变压器以及电子管前级的阻容元件装在底盘下面，见图3。整机装成后，整体给人的感觉是厚重、大方而别具新意，个头虽小，但重量不轻，达3.5kg，所以几位朋友听后戏称该机“含金量高”，因而也就多少流露出想“夺走”的冲动。

听音感受和总体评价

该机集胆机与石机的优点于一身，优势互补，相得益彰，既有胆机韵味十足，耐听迷人的特点，又有石机清爽利落，苍劲有力的长处。笔者将该机和家里的一对台湾罗技3英寸全频音箱驳接，音源用手头的小型硬盘高清播放器，具体搭配见图4，播放一般MP3格式音乐，虽然也有使人能够听得过去的声音表现，但和CD相比，总给人一种缺点什么的感觉。只有放送无损压缩的APE或FLAC格式的信号时，该机的内在潜力才得到较为充分地发挥。它不温不火，能够原原本本地将音乐展现在你的面前，属于无需浓妆艳抹而具备自然美的那种。这个三小件搭配实在合适不过，以小对小，既节省空间又节能、环保，使用也非常方便，实为一套性能不错的小型迷你音响，和市面上那些花里胡哨的成品相比，除外观较为逊色外，若论性能，绝对是有过之而无不及。说该系统好是相对而言的，它不可能具备笔者客厅300B胆机的迷人音色，也更不可能和中高档的晶体管机相提并论，因为不在一个等级上，仅仅数百元的身价，说实话，连一台像样胆机的输出变压器都买不来。笔者将这一系统和多款多媒体音箱比较，千元左右的箱子根本不是对手，就是2000元价位的，该机也绝不会输给它，只能说各有千秋，互有胜负，在韵味上该机还要胜出不少。笔者绝非危言耸听，只要分析一下该机电路并看看用料就不难得出结论，电子管做前级放大功不可没，难怪一些Hi-Fi功放以及中高档CD播放机的模拟部分都用电子管担任放大。有动手能力的爱好者完全可以DIY一台，笔者友情提示：（1）该机用的电子管代用品实在太多了，6N1～6N4、6N8、6N9等以及国外同类管均可代用，只是有些管脚连线需要变一下。（2）LM3886成品放大板邮购单位比较多，价格也很低廉，但质量良莠不齐，其中不乏有假冒伪劣产品，故一定要从那些口碑较好的正规单位邮购。（3）电源变压器尽量用较有口碑的品牌产品，其功率容量能用到200W以上，其效果则更为理想。

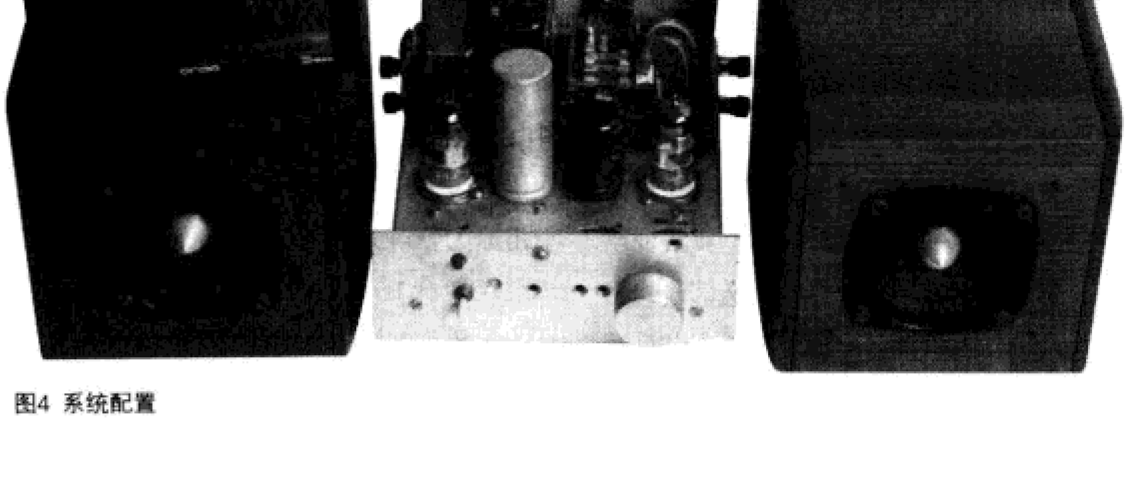
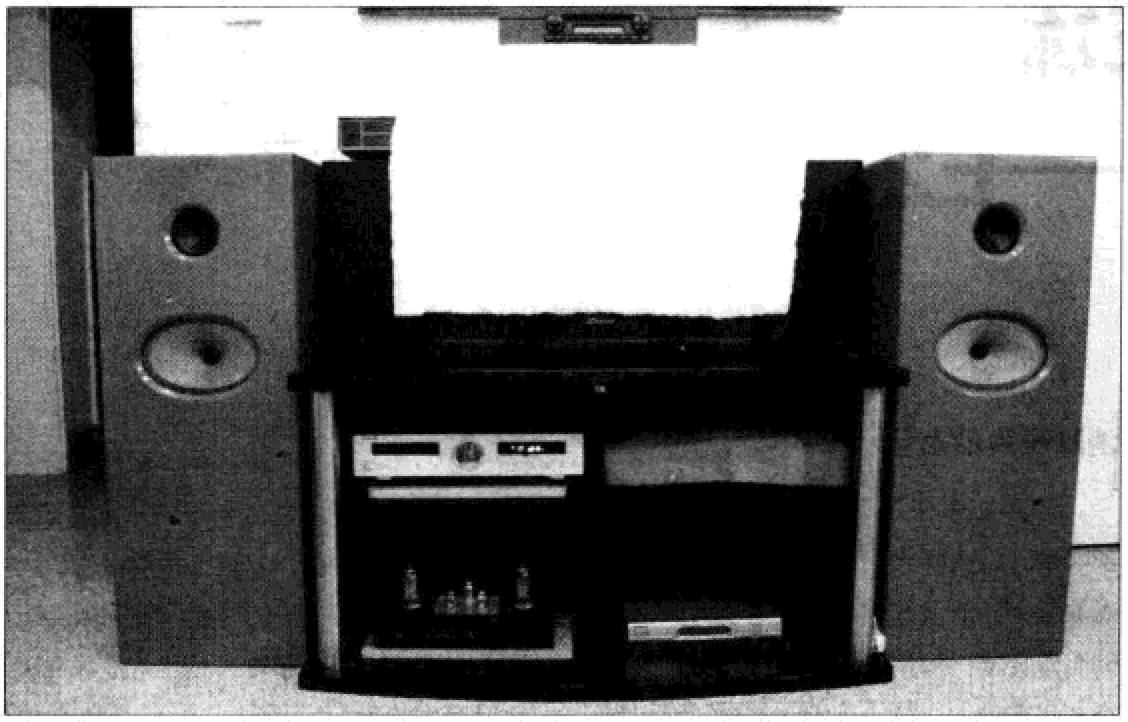
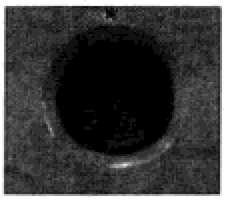


图4 系统配置

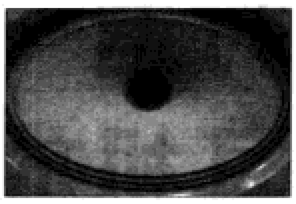
玩“板”偶得

◎林强

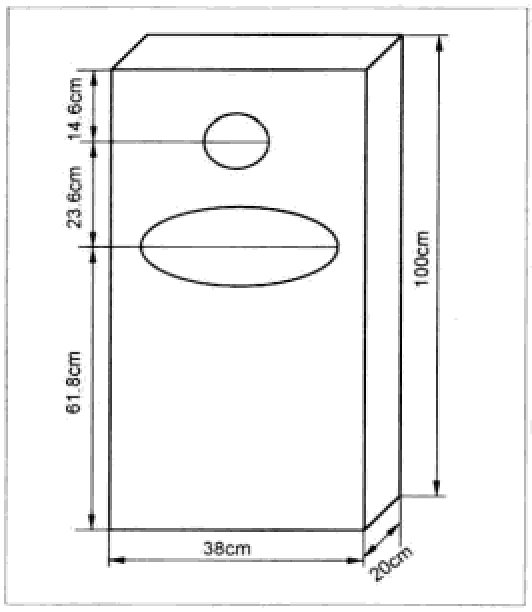




高音单元采用的是4英寸罗兰士扬声器



低音单元采用的是7英寸×12英寸罗兰士扬声器



音箱结构图

玩“障板”（障板音箱），对我而言绝非易事，一是没有一对好的扬声器，二是那整扇门一样的“障板”，令我难以接受；三是怕做不好，音质平平，让人笑话。所以一直没能引起我的“兴趣”。

前段时间，一个偶然机会，在德国工作的朋友帮我搞到了几个德国Schaub Lorenz（罗兰士）全音域扬声器，正是这几个扬声器勾起了我玩障板的兴趣。

关于“障板”，我总是在想能不能有一种折中的办法，来个小一点的“障板”，使它既有一定的素质，又不太占地方，以免引起家人的反感。与几个朋友交流，得到的结论是：这不可能！“障板”通常就只有一个全频单元，最多加了一个高频单元，要涵盖全部的频段是很难的。甚至很多人认为，如果不是大单元、大“障板”，就没有低音。小“障板”不容易做好，恐怕要吃力不讨好。

出于对“障板”的执着，我权衡再三，在朋友的支持、帮助和鼓励下，最后选定了U形“障板”（后开放式）。因受家里条件的限制，只能做高1m、宽38cm、深20cm的小“障板”。我采用0.618黄金分割法来确定扬声器的位置。画好了图纸，交给了一个做装潢的朋友去打理，箱体的漆面是橘红色，一改“障板”单调、古板的色彩，体验一下时尚优雅个性，打造一个既有真实自然之声、又不失精巧、迷你之美的“障板”。

U形“障板”的结构非常简单，仿制也相当容易。对于U形“障板”的音效，说实话我心里也没底。高频、中频应该没什么大问题，就是不知低频到底会是什么样。那天箱体回来了，马上就装上扬声器，用美国早期西电老线作为箱内连线，接上镀金音箱接线柱，并在高音扬声器上加了一个 2E185K 巧克力电容。“障板”的安装就是简单，三下两下就完成了“任务”。直接试机，真是不试不知道，一试吓一跳。让我大喜过望，这声音太美了，没有丝毫的渲染，声像定位准确，音箱仿佛消失在空间中。声音清甜、通透、开扬，每个音符仿佛都带有淡淡的甜味，透出明亮、温润的光泽。特别是大家所关心的低频，也是非常到位，不仅声音丰厚饱满，而且有着弹性和力道。对我来说，有着这样的量感和低频延伸已经很不错了，感觉比我那对 6.5 英寸的进口落地箱还给力。

这是一对令人感动的“障板”，在闲余的时候，放上一曲优美的弦乐、一段人声，都会有种很奇特的韵味和感觉，它驱除了你一天的紧张和劳累，换来一种舒畅、惬意的好心情。

◎杨宇洸

打造一款非主流耳机放大器——E2

E2耳机放大器为什么被称之为“非主流”放大器呢，因为大多数耳机放大器为同相放大器结构，而E2的放大电路是一个反相放大器结构。我曾经在试验板上焊接过正相与反相放大电路，使用完全相同的元器件，反复对比听感后，觉得反相放大器出来的声音，在高、中、低三个频段的平衡好，活泼，于是制作了E2耳机放大器。

由于耳机与耳朵的距离非常近，一丝一毫的可闻噪声都会被敏感的耳朵捕捉到，尽管有些不可闻的噪声是耳朵无法听到的，但会弱化信噪比。因此要想设计出一款高品质的耳机放大器，消除噪声尤为重要。

消除噪声的对策

噪声若按来源可分为外来噪声和内部噪声。外来噪声包括市电线路噪声、电磁波辐射，滤波和屏蔽都是解决外来噪声的有效手段。内部噪声涵盖元器件固有噪声和电路内部干扰。内部干扰可以通过屏蔽，PCB科学布局、电路设计来保证噪声控制到最小。

在元器件固有噪声中又包括了以下几种情况：

（1）能量消耗时产生的“热噪声”，通过减小电阻值，降低温度，变窄频带可以得到改善。

（2）半导体内部产生的“散粒噪声”，散粒噪声是电子流越过半导体元件内部电位壁垒时产生的噪声，这个很难减小。

（3）电导率变化产生的“接触噪声”，它是材料间不完全接触，使电导率发生变化而产生的。

（4）两个电极（如晶体管的基极和集电极）分流产生的“分配噪声”，这是一种在高频时的主要噪声，无源元件中接触噪声较大的是碳膜电阻，最低噪声的电阻是线绕电阻，但它的频率特性与可制作的电阻值范围较窄，所以只在特殊用途中使用。次低噪声的电阻就是金属膜电阻了，因此在低噪声电路中可作为首选。

开关、继电器动作时或是元器件焊接出现虚焊时也会有“接触噪声”。接触噪声功率密度与频率成反比例增大，因此也称为“1/f噪声”。

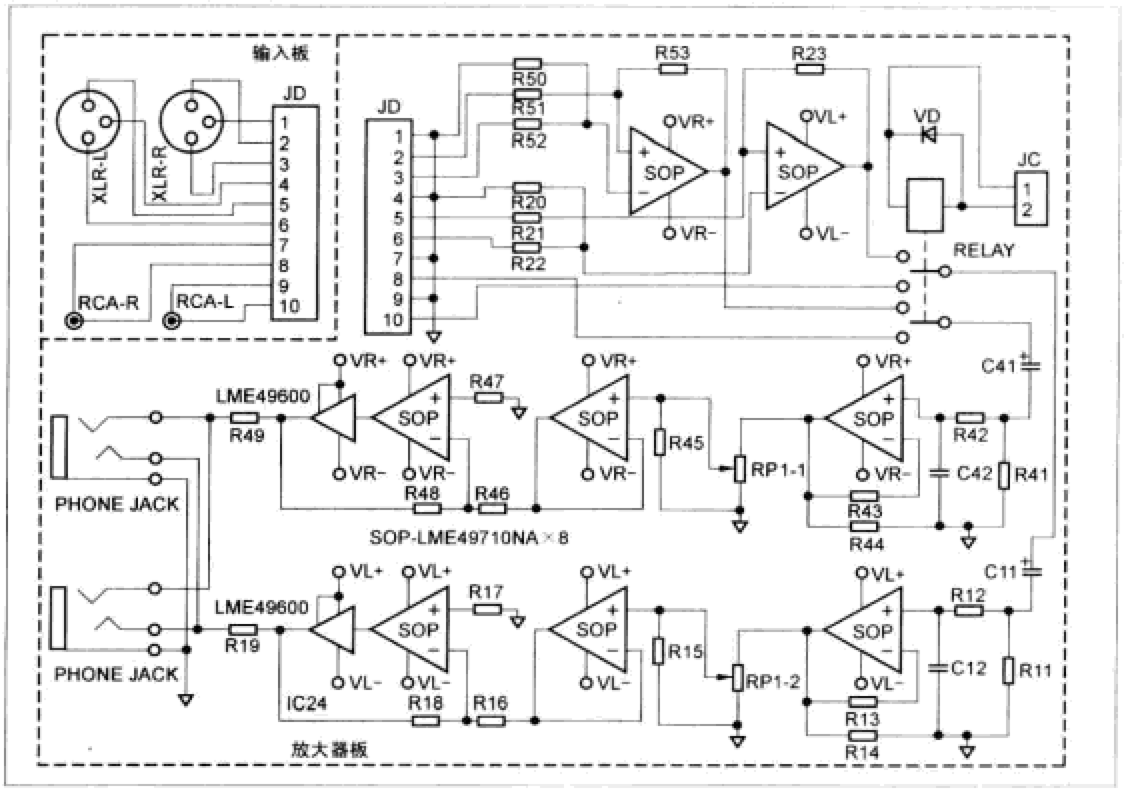


图1 放大部分原理图

放大部分

设计方向明确后，先把放大器部分的原理图画好，见图1。图中上部是单端和平衡信号输入电路。平衡信号进差分放大器转换成单端信号后，与另一路单端输信号入继电器，二选一后到正相放大器进行两倍预放大。其前端有高通和低通滤波器确定频带带宽，滤除信号中噪声成分。预放大后的信号进入音量电位器RP，后

接电压跟随器运放，进行阻抗匹配，弥补反相放大器输入阻抗低的问题以及隔离电位器RP对反相放大器电阻网络的影响。主放大电路由运放+LME49600高电流音频缓冲器组成反相放大器，信号放大后输出至耳机插座。

同相放大器反馈类型为串联电压负反馈，而反相放大器为并联电压负反馈。根据虚短的原则，运算放大器的输入端电压几乎为0V，因此共模抑制比CMRR可以忽略。CMRR在不同频率下并不是一个恒定值，随频率上升而下降，反相放大电路可以减小CMRR的影响。

频带宽度是一个重要的参数，不同的音源频响差别很大，从调频广播40Hz～15kHz、CD唱片20Hz～20kHz、黑胶密纹唱片5Hz～40kHz、SACDDVD-Audio以及高规格音频文件为5Hz～100kHz。如果一个放大器的带宽为20Hz～30kHz，那么超出这个范围的音频信号就会丢失，在这个频率范围之内，放大器也会把引入的噪声放大，造成听感下降。

背景知识

放大电路噪声电压的典型频率特性

在数十赫兹以下的低频，由于1/*f*噪声影响，固有噪声随频率降低而增大。在数十赫兹至数百千赫兹之间，主要是谱密度恒定的白噪声,白噪声主要由热噪声和散粒噪声组成；在数百赫兹以上的高频，分配噪声的影响增大。

电源部分

电源部分的电路如图2所示。市电220V进变压器，次级输出有三个独立绕组，其中两个18V绕组分别接两组完全相同的复合稳压电路，输出±15.5V给放大器电路，另一组接7812稳压电路，供给继电器和指示电路。

音响器材的本质就是电源调制器，即用信号控制电源，高品质电源系统对音响是极为重要的。如果电源噪声大，也会带入电路。该耳机放大器采用的是复合稳压电源电路，串联稳压用LM317先预稳压，再用TL431和PNP型达林顿管组成并联稳压。

在官方文档中TL431的噪声水平相对较高，为了去除噪声直接在阳极和阴极间加入电容，但该电容值在0.01μF以上时就会发生振荡，这是带容性负载能力弱所致。这个问题在后来电源调试过程中就出现过。改进的方法是，在电路中加入一个电阻RL和一个滤波电容CL组成低通滤波器，见图3，电阻RL的作用就是防止振荡。

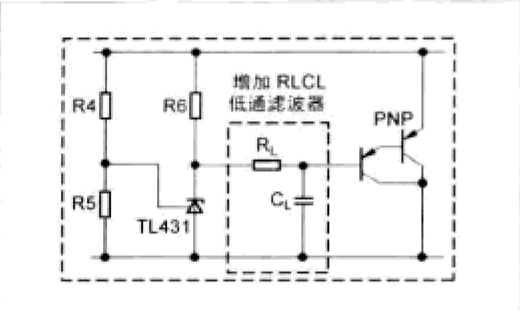


图3 新增的低通滤波器电路

降低电源噪声的另一个措施是在放大电路板里，从电源输入端输入的±15.5V先通过4个电阻（R+/R-）分别与左右声道的运放退耦电容组成低通滤波器，减小电源噪声和引线感应噪声，同时减小两声道间串扰。

设计实施

在策划初期，我就考虑将E2制作成一部高起点的机器，电路、PCB和机壳都准备自己完成。电路和PCB设计固然很重要，但赏心悦目的外观同样举足轻重，体现机器特色。用成品箱比较方便，但是规划布局上会有一定的局限性，并且还需要二次加工，个性元素也难把握，所以成品机箱就不考虑了。

PCB和机箱是在Protel上同步设计的，见图4。这么做直观清晰、方便确定尺寸、面板和背板元件定位精准。在原理图确定后期，安装在PCB以外的元件，如变压器、电源开关、旋钮、各种插座等，并测量尺寸为机箱设计做好前期工作。

放大器板子设计严格按照信号流程、低频模拟电路的规则。耳机放大器PCB相比较功放PCB来说容易些，信号从后面板进来，到前面板出去输送给耳机。在设计中，为运放配备的电源与地之间的旁路电容CL设计在PCB背面。

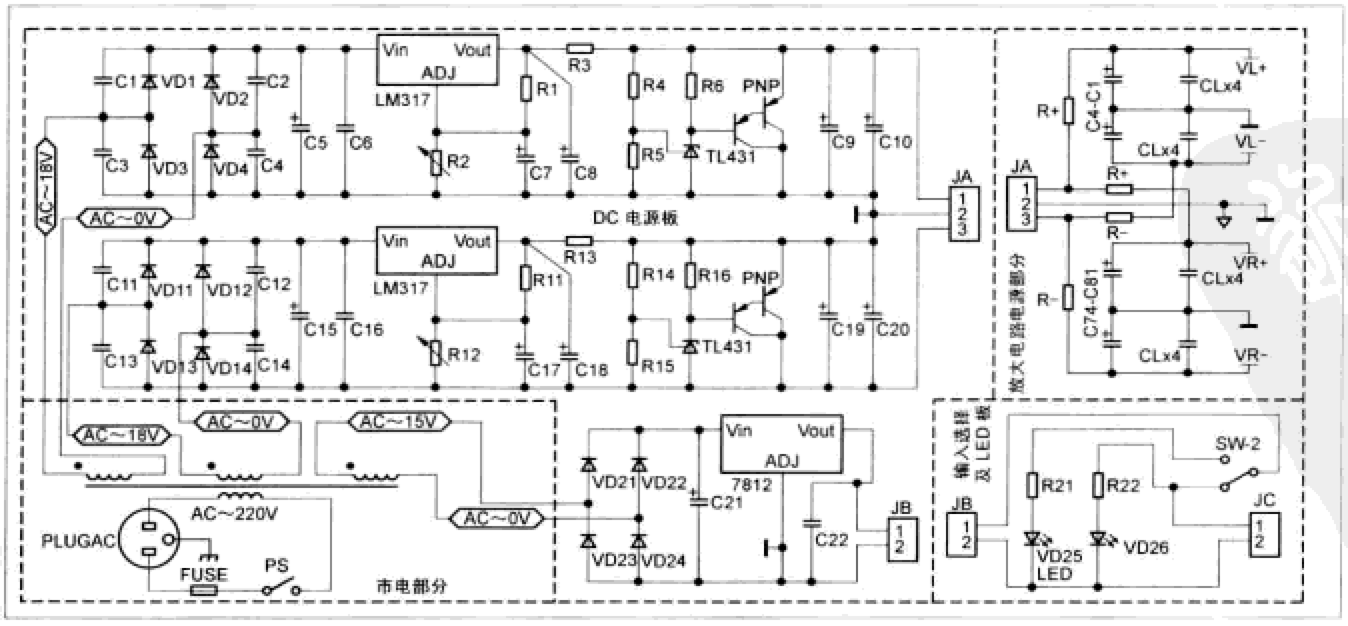


图2 电源部分原理图

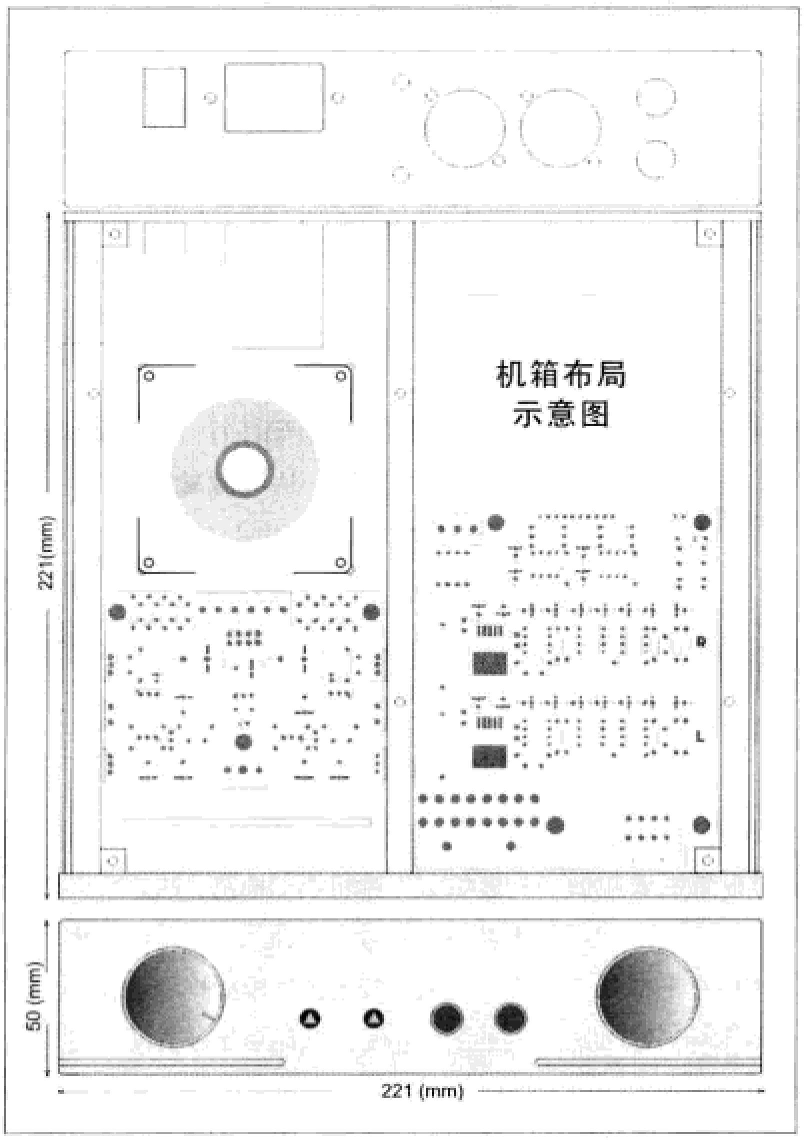


图4 机箱设计示意图

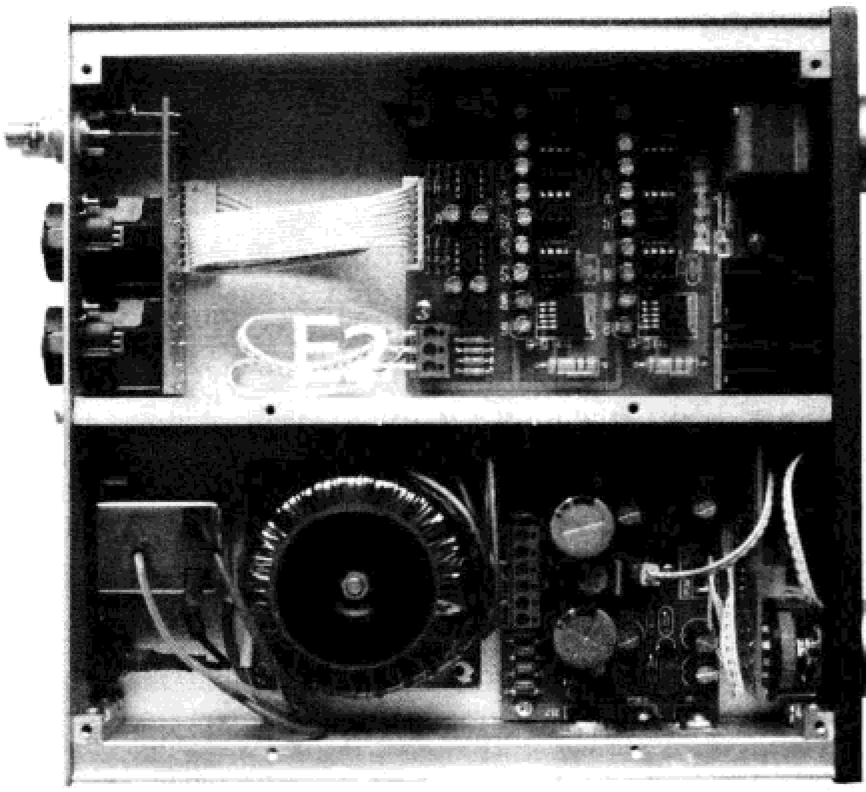


图5 内部结构

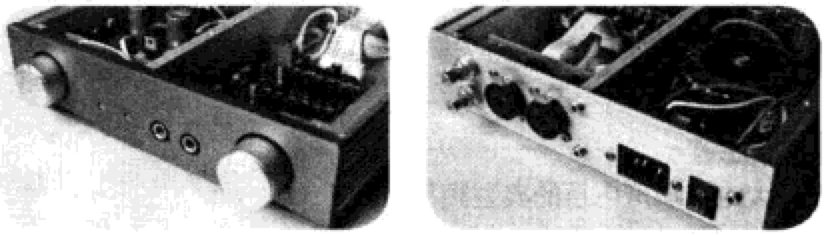


图6 前面板

CL用SMD贴片电容，并紧靠运放的电源脚。这样处理后，噪声非常低，运放工作也更加稳定。

我在手头上经常备有一本电子散热器厂家的产品手册，书中各种铝型材、板材规格详尽，我每次在做音响机箱或是用到散热器的PCB设计前，都要翻阅几遍。E2机箱主选铝板材，在筛选两侧用铝板时，费了些功夫。如果用厚一些的板材，顶板与侧板的衔接就要有更多的机加工才能做得漂亮，这样成本会高些。反复权衡下，我选了一款带“边”的型材，边高为2 mm，2mm厚的顶板正好可以镶入，型材高度也符合机箱高度设计要求。

做好的耳机放大器如图5所示，前面板和顶板特意选用蓝色板，其他部件保留铝本色。

面板正面如图6所示，左边是音源选择旋钮，右边为音量旋钮。两个LED音源指示和两个耳机插孔一字排开。机箱内部设计成两大部分，左侧是电源空间，右侧是放大电路空间。它们之间使用一块铝板隔离，同时这块铝板还兼做电源板的一侧散热器，另一侧散热使用机箱左侧板。

后板正面如图7所示，左边是L/R声道的RCA输入插座,旁边是左右声道的平衡输入插座，并且这种卡侬插座还可以用6.3mm立体声插头输入。电源输入插座和开关放置在右侧，这个电源插座实质上是个传输滤波器，可以抑制市电噪声进入机箱内部，内部结构就是共模扼流圈，减小共模噪声。

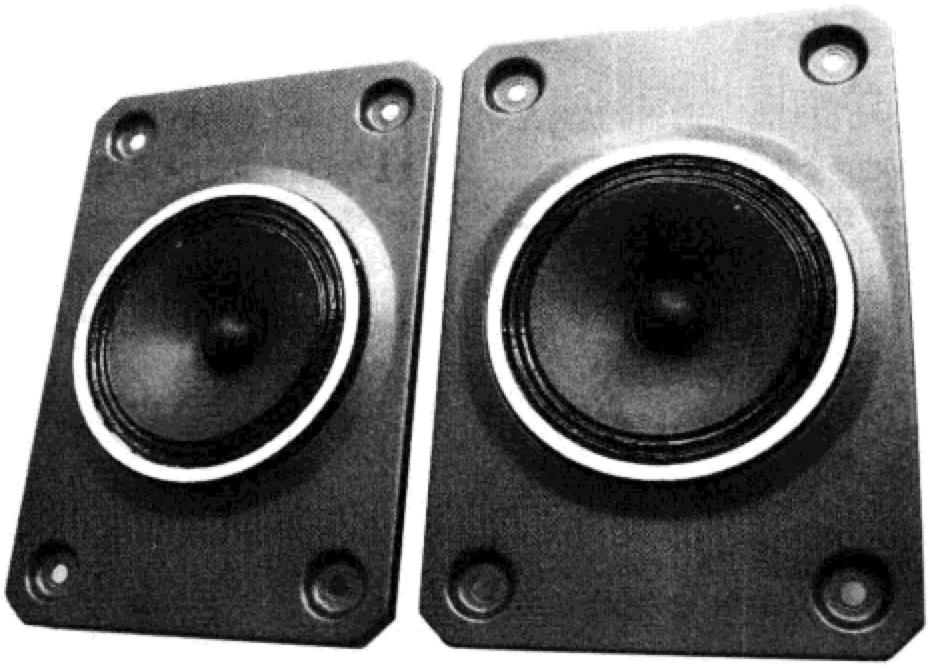
电源变压器也具有防止外来噪声的功能，发挥这种作用的就是静电屏蔽。静电屏蔽层不会将市电的共模噪声传输到次级一侧，而是返回到初级的接地端。如果屏蔽层接错线，就会导致相反的结果。资料中显示，无屏蔽状态下的变压器电容为100～300pF，屏蔽后的电容急剧下降到1pF左右。在固定变压器引线时，初级和次级的线一定要分开处理，且承载220V的线材要尽量短。

喜获丰收

E2放大器从构思到图纸，从加工到制作实物完成，历经一个月有余。我测试了正弦波、方波等、带载测试、底噪测试均很满意，随后试听了森海塞尔HD600、铁三角A950、AKG K702等耳机，并对高通、低通滤波电路参数进行了调整。闲暇时听上一曲，美在其中。Ⓦ

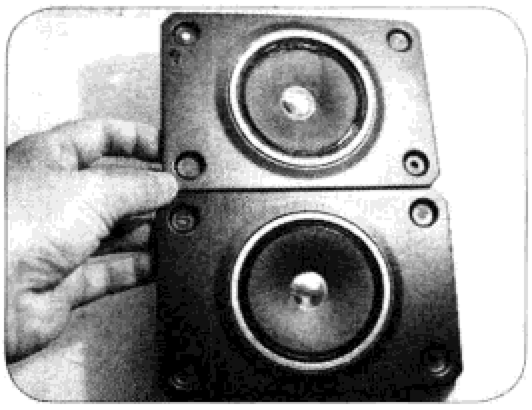
◎倪文贤

纸盆扬声器修复纪实

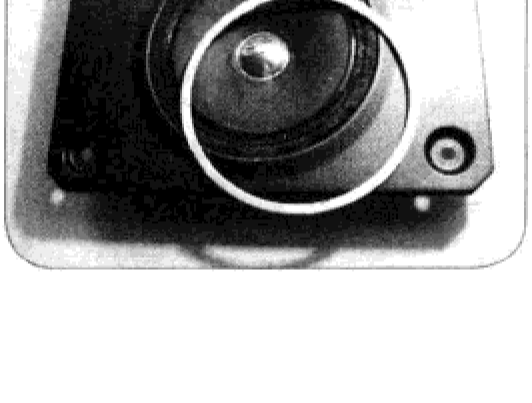


前段时间帮朋友修好了几对纸盆扬声器，每个扬声器的“症状”都各不相同，下面就详细讲讲“对症下药”的过程，希望对打算自己动手维修扬声器的朋友有所帮助。

01 这是一对日本JVC音箱上的纸盆高频扬声器单元，一个问题是纸盆破损变形，另一个是完全没有声音。



02 先拆开纸盆破损的那个高频扬声器单元。



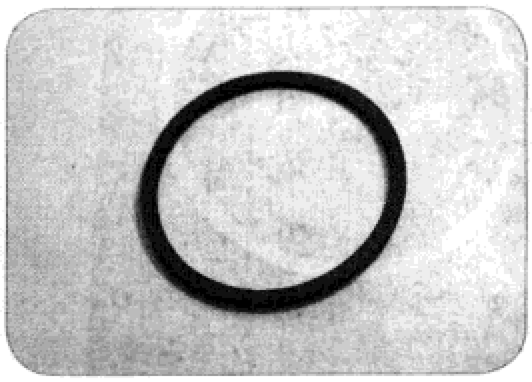
03 把破损的纸盆完全取下，可以看到两条极细的音圈引出线，所以拆下纸盆时要非常小心，若碰断了音圈引出线就比较麻烦了。

04 把拆下的纸盆称一下重量，是0.6g。

05 将要换上去的新纸盆重量只有0.3g，期望能有更好的高频表现。

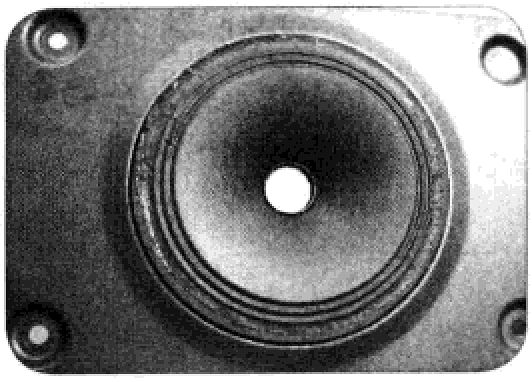
06 放入新纸盆试了试，发现盆的高度比较大，高出盆架大约3mm。

07 于是找了一片3mm厚黑色的高泡海绵切出两个圆环。

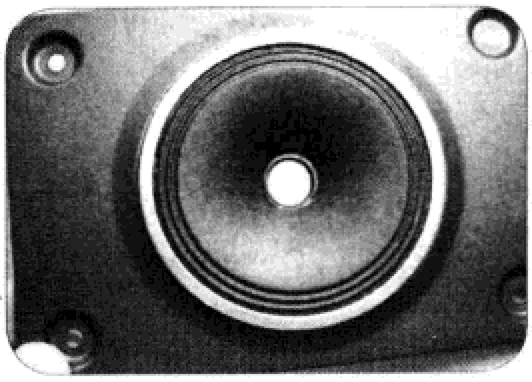


08 把海绵圆环与盆架粘合。

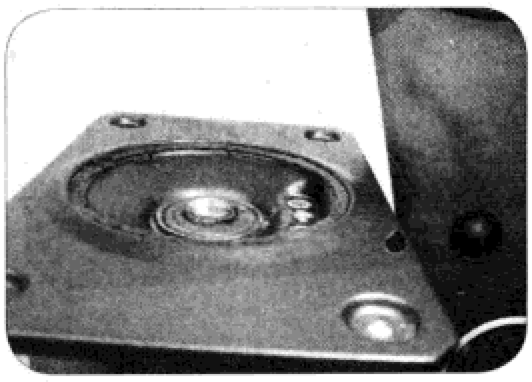
09 再把纸盆与海绵粘合，粘合纸盆与音圈，哈哈，一个问题解决了。

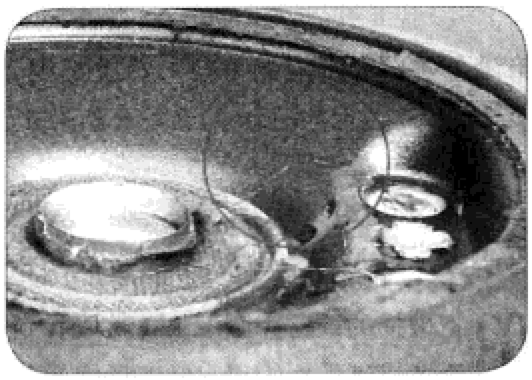


10 粘上装饰外圈，一个高频扬声器单元修好了。

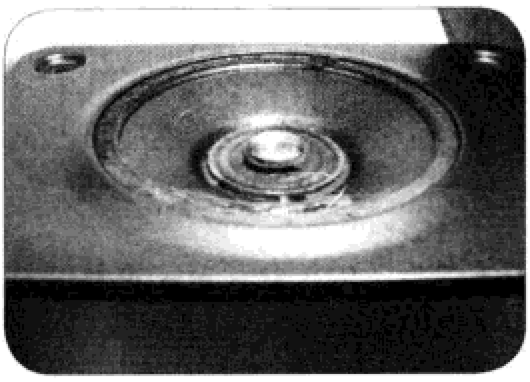


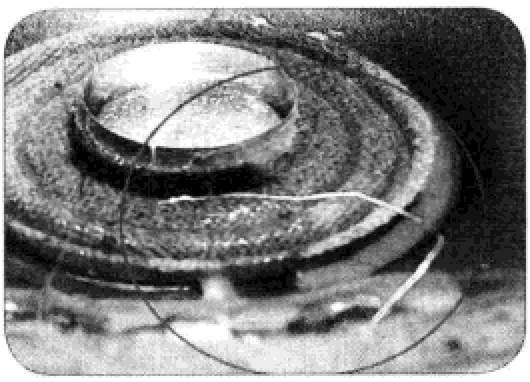
11 另一个高频扬声器单元是完全没有声音，用万用表测量电阻没有反应，拆开后仔细查看是一条音圈引出线断了（放大的图片中的红圈部分），还好不是断在音圈里面，不然还得拆开弹簧片。



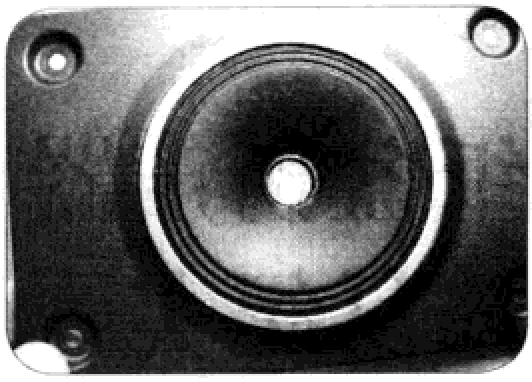


12 问题虽然简单，但把这条线焊接在一起花了我不少的时间，实在太细了，我是另找了一根差不多粗细的铜丝把它们接在一起（放大图片的红圈部分）。

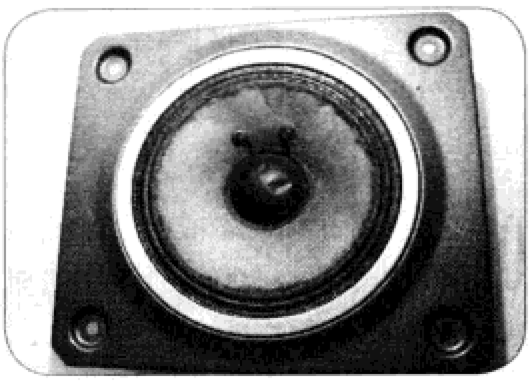




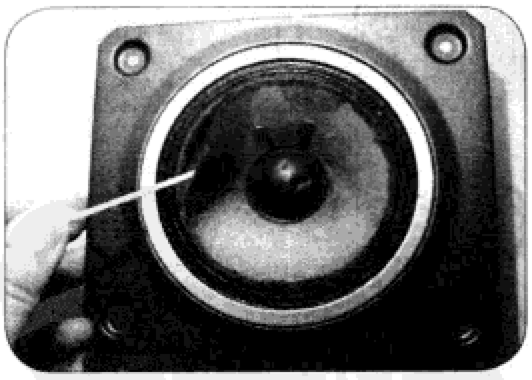
13 粘上新的音盆，最后在两个音盆的折边部分都涂上阻尼胶，大功告成了。



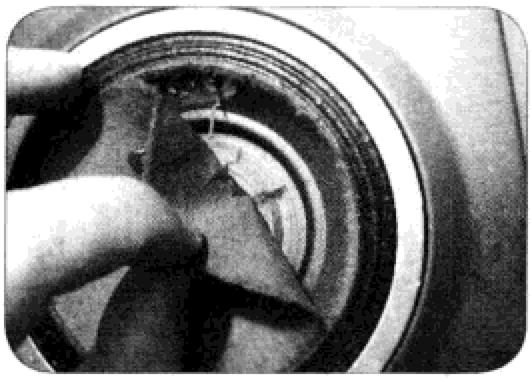
14 接下来是同样牌子的一个中频扬声器单元，问题也是没有声音，测量电阻，完全没有反应。



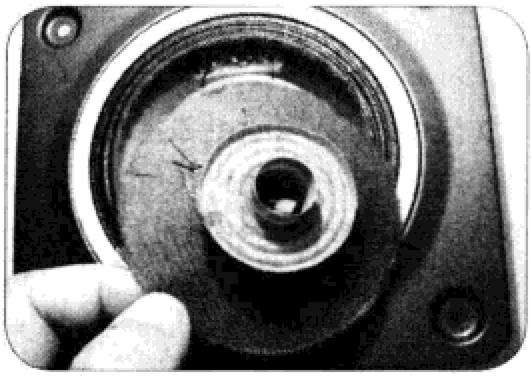
15 仔细查看纸盆，盆与折边的交接处已经严重受损，用牙签轻轻一拨就破开了，看来必须得换盆。



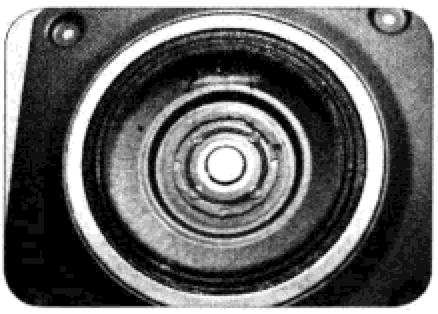
16 拉开纸盆仔细查看，发现音圈引出线都完好无损，这下麻烦比较大了！这说明是音圈里面的线断了，要拆开弹簧片修理。拆弹簧片之前得先用记号笔做一个记号，目的是装回时可以“原路返回”。



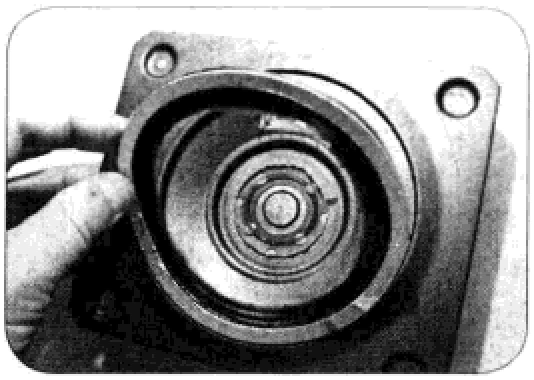
17 剪断音圈引出线，用刀割下弹簧片。



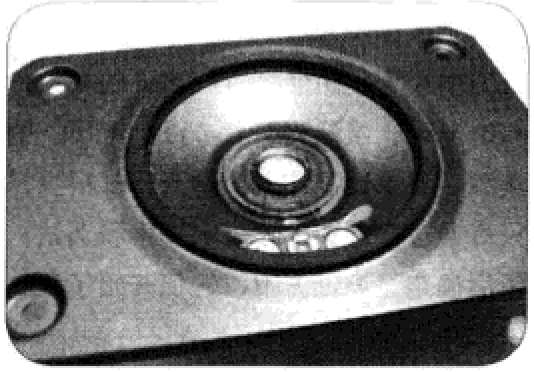
18 可以看到盆架上残留的弹簧片上有个记号笔的印子，新的弹簧片可以有一次修理的机会。此时用刀直接割开而不必用溶剂浸泡弹簧片，但要留一点在盆架上，并且装回时必须上下对准，再用胶粘合。



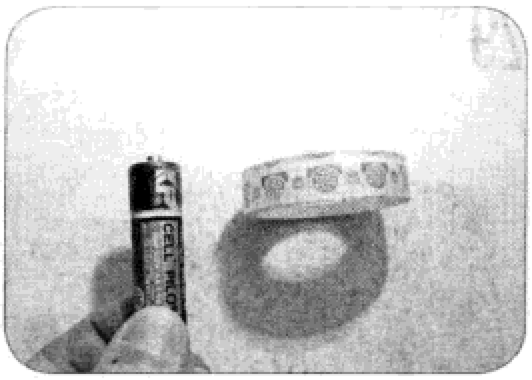
19 把纸盆都拆卸干净。



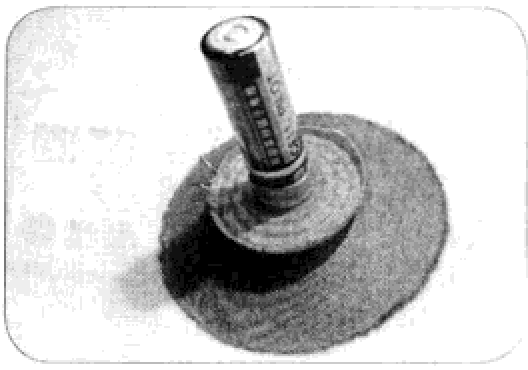
20 既然打开了纸盆，就用双面胶清理一下磁隙。



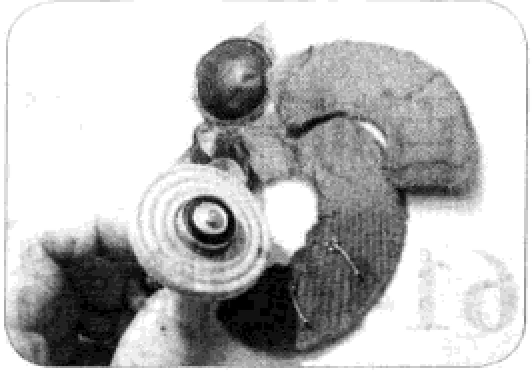
21 用电池加透明胶带做一个筒子，直径是音圈的内径。



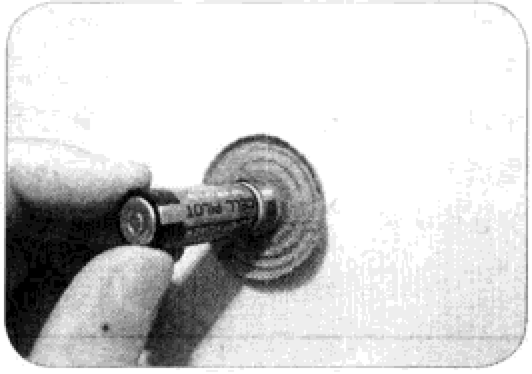
22 套住音圈，这样可以保证在接下来的拆解修理过程中音圈不会变形。若音圈变形了，问题就会非常严重，而且很难恢复。



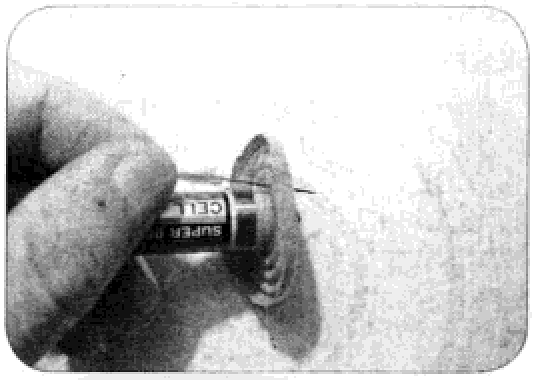
23 拆到只剩下音圈和弹簧片，引出线也剪掉了。



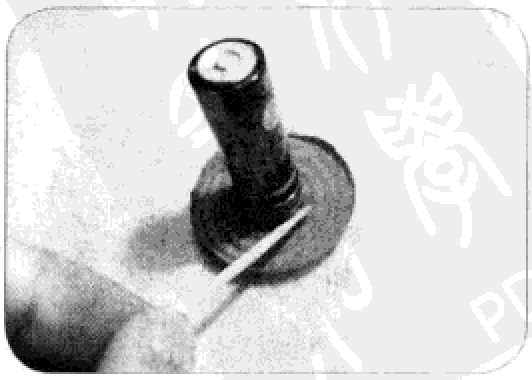
24 从音圈里面抽出两根线，线要尽可能短。



25 用针在弹簧片靠近音圈的部位戳两个小孔。



26 把抽出来的两根线穿过小孔伸到前面，用胶封住小孔。



◎陈建军

“百听不厌”的6146单端胆机制作

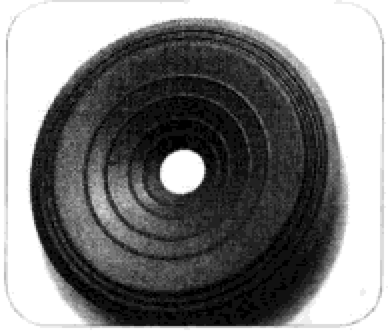
在电子管家族中，FU46、6146有“百听不厌”之称，极具诱惑力。它有着短粗矮胖的结实身材（见图1），金属屏极几乎充满了管内空间，拿在手里沉甸甸的，它似乎在告诉你：“我不会让你失望！”我有用6146制作的想法已经很久了，在查找6146方面的相关资料时发现，虽然它有着“百听不厌”的美称，但单端制作方面的资料却很少，只好通过摆地摊的方式来摸索和调试，最后确定了设计方案，这便开始了我的6146单端胆机的制作。

机壳的制作方法我在2010年10期《无线电》杂志《KT66单端胆机的制作》一文中已有详细的介绍，在此就不再叙述了。机壳制作是根据输出变压器屏蔽罩的尺寸和变压器的尺寸来确定的机壳制作的尺寸。我在制作这台胆机时，首先考

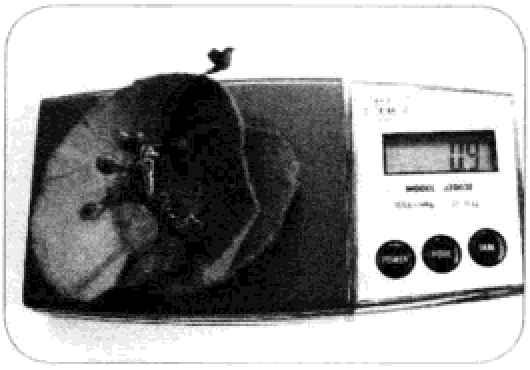
---

27 按之前在弹簧片上做好的记号“原路返回”，装回弹簧片，在被切过的部位涂上一圈胶粘合。把抽出的线与原来残留的接线头焊接在一起。

28 这是新的中音纸盆，盆的强度更好。

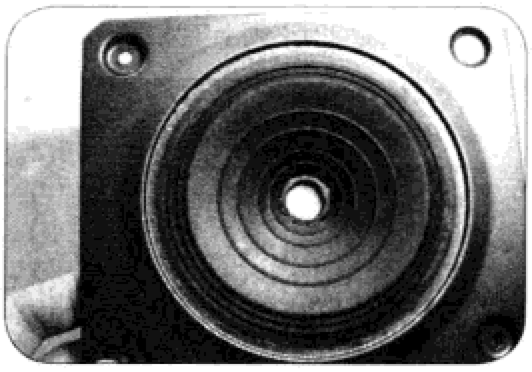


29 原盆的重量是0.9g。

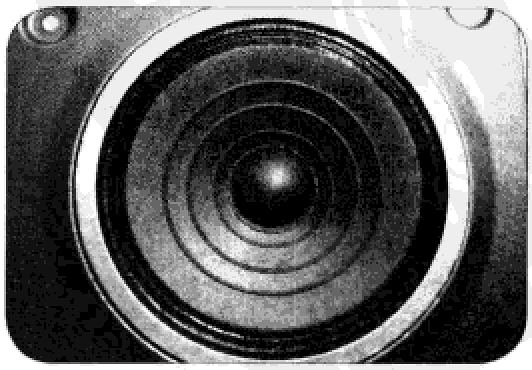


30 新盆的重量也是0.9g，相当完美。

31 盆的高度也是一致的，粘合音盆与音圈，粘合音盆与盆架。



32 粘上防尘帽，折边涂上适量阻尼胶，修理完成，另一个中频扬声器单元也如法炮制，修理成功。



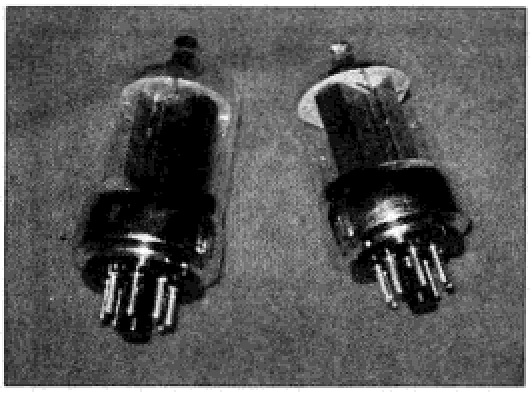


图1 6146的外形

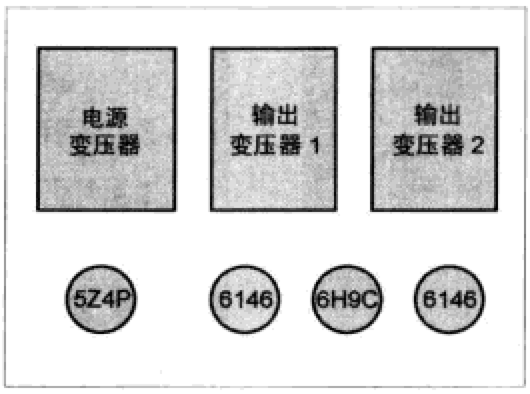


图2 机箱的布局

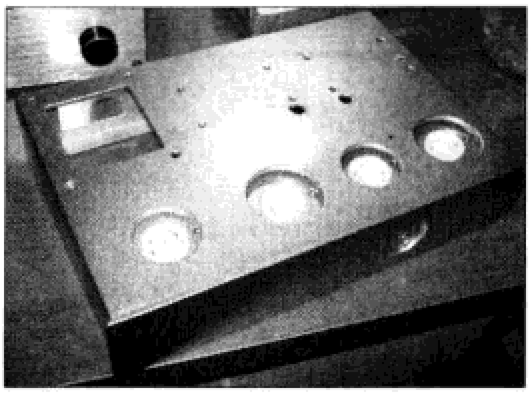


图3 开好孔的机箱

虑的是结构紧凑、体积小巧，而外观要整洁美观，这或许是DIY的优势，不必拘谨可按照自己的想法去制作。经过考虑，确定电源变压器和输出变压器采取横向布置，这种布置方式，使电源变压器与输出变压器离得很近，如果处理不当很容易出现磁耦合干扰噪声。电源变压器和输出变压器摆位防止出现磁耦合方法和测试在后面叙述。为了美观，电子管也是横向布置。由于机壳比较小， 只能把扼流线圈安装在机壳的内部，这样的好处是，机壳外观显得整洁不再凌乱（见图2）。

电子管座固定在机壳里面衬板上，在机壳外面没有螺丝帽露问题，让机壳表面光滑平整。机壳制作完毕后，再喷上银色金属漆，多喷几遍效果会好些，一个漂亮爱不释手的机壳就这样呈献在你的眼前（见图3），呵呵！这次机壳的制作，对自己的钣金和喷漆手艺还是很满意的，增加了对后续制作的信心，油漆干透需要几天的时间，等待油漆干透后再开始组装胆机。

在组装前先画出电路原理图（见图4），前级采用的是一支双三极管6H9C，是前苏联1959年的管子，也可以使用国产的南京6H9C或6N9P替换。这个型号管子是低频电压放大管，放大系数为70，是高U管。该管子声音通透、细腻，表现还是不错的，我经常使用这个管子做前级。电路中前级为一级放大，反馈采取电压负反馈方式，电源部分采取晶体管整流和电子管5Z4P混合整流方式，这种整流方式效率很高，如果只采取单支电子管整流方式，5Z4P最大输出电流只有125mA，这对6146整机来说电流就不够用了，所以采取晶体管和电子管混合整流方式。采取这种方式制作成本也不高，一支国产5AR4整流管价格为60元，而使用上述方法，成本只有15元。5Z4P是旁热式整流管，开机时阴极输出电流和电压是缓慢地上升，这对6146来说，完全能起到缓冲保护作用，避免了开机浪涌的冲击，可延长电子管的使用寿命。电子管手册介绍6146帘栅极最大工作电压只有250V，不适合三极管接法，最后确定采用标准接法的工作方式。帘栅极的供电采用了电阻和两只稳压管串联方式，这样可以降低电源内阻，帘栅极的工作电压确定为175V，6146阳极散耗功率为25W，保守算，屏耗为25W×80%=20W，实际的使用功率为351V×61mA=21.4W，再减去帘栅极的功耗，屏极的使用功率在20W左右，符合预设的要求。输出变压器为3.5kΩ/13W，电感量为20H，电源变压器功率为200W，双290V带抽头，输出电流为200mA。扼流线圈是30W，变压器体积为4H/0.3A。电阻使用1W金属膜电阻，6146功率管的阴极电阻使用大于5W的电阻，耦合电容可根据自己对音色喜好来选用，旁路的电解电容尽量使用音频电解电容，这样对提高音质会有好处。

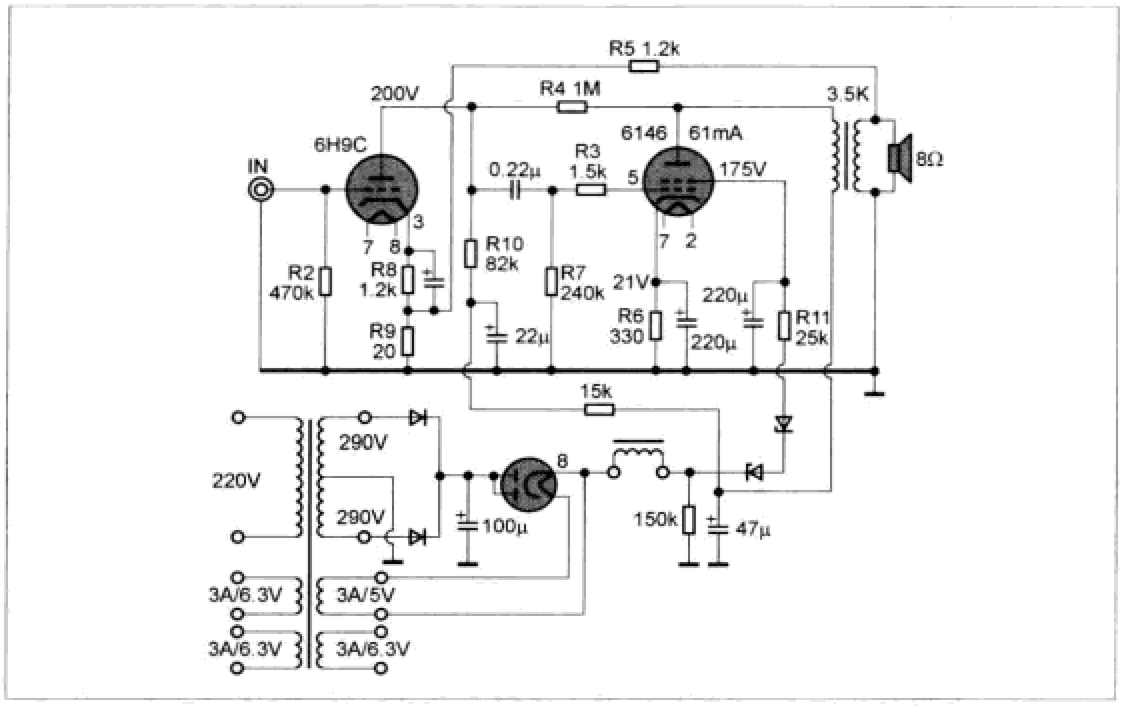


图4 电路原理图

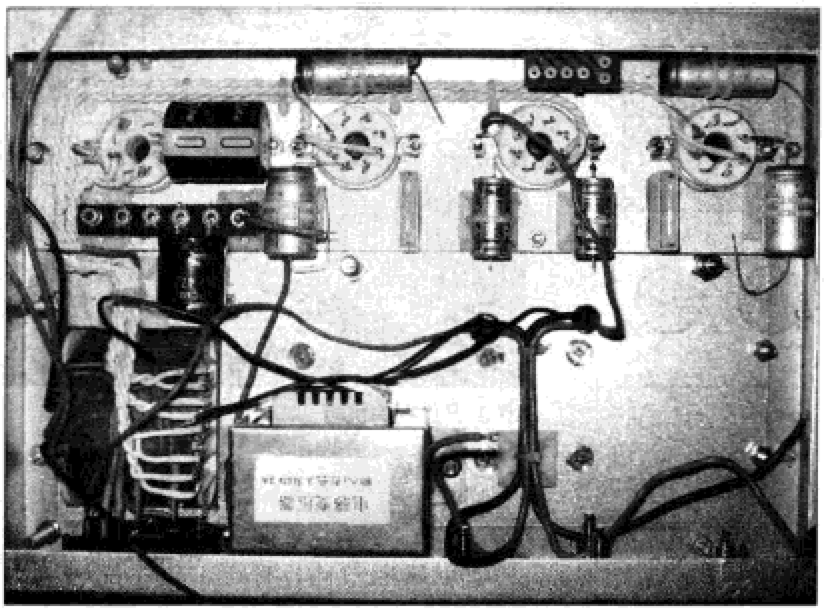


图5 灯丝线等走线的布局

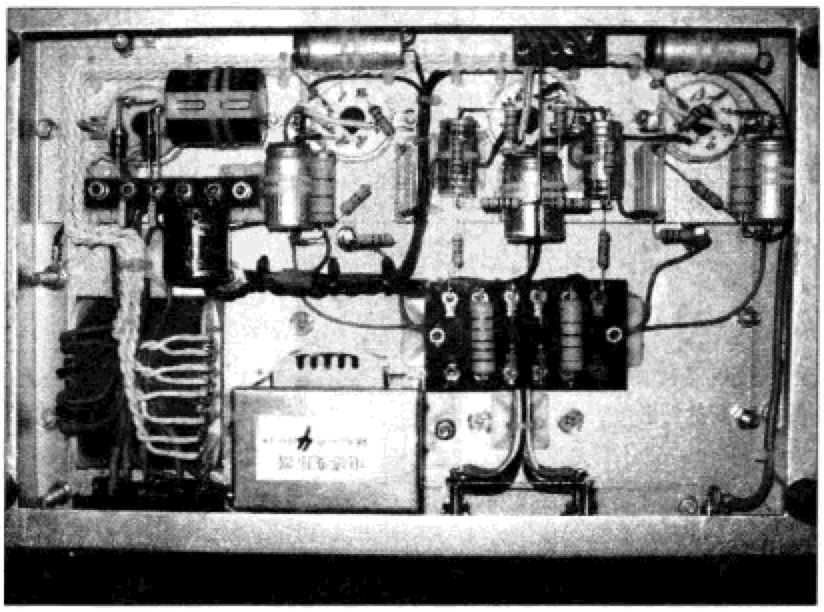


图6 装配完毕的整机内部

机壳油漆干透后，开始组装胆机，先将电源变压器固定好位置，我们知道EI电源变压器漏磁最大的方向在铁芯金属面最大一侧，这一侧正好靠近输出变压器。测试时先给电源变压器接通电源，将输出变压器线包侧靠着变压器，在输出变压器8Ω端子接一个扬声器，耳朵贴近扬声器，移动输出变压器1找到最小噪声位置，固定好输出变压器1，输出变压器2测试同上。确定好位置后，开好输出变压器的固定孔，上述测试方法最好在机壳未喷漆之前测试，这样可避免在测试时划伤机壳油漆表面。

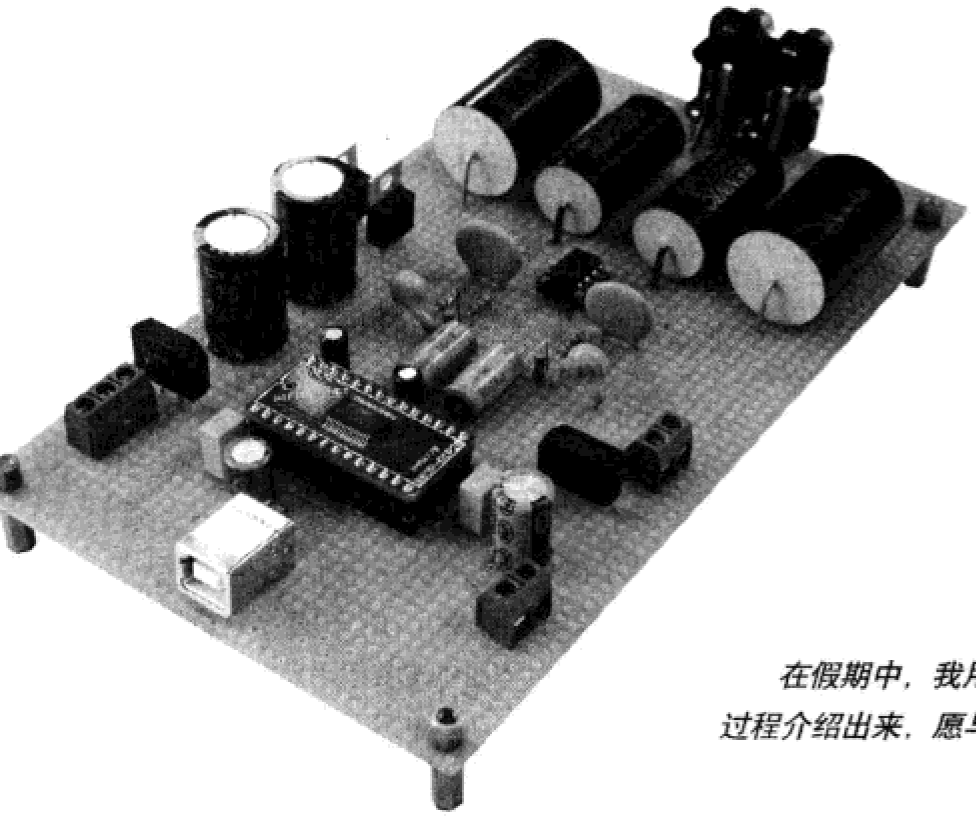
搭棚焊接元件时要发挥空间想象力，元件布局和连接线走向要整体考虑。我在制作时，考虑元件和连接线的布局时间，远远超过了动手焊接的时间。考虑周全后再动手，可避免拆卸及返工。制作经验告知，元件布置还是有规律可寻的。首先元件搭接和连线，要确保横平竖直，元件最好对称布置，这样整体线条清晰有条理，在调试及检查中容易目测和发现问题。

再说一下接地问题，在胆机论坛上，我发现有不少朋友在制作时元件接地方式有些随意，我们DIY胆机的电路虽不是高频电路，但也最好采取一点接地方式，这样不仅可以克服公共点的电位差，而且使电路工作更加稳定，对提高信噪比也有帮助。灯丝线走线尽量布置在元件区的外围，这样可以避免灯丝线分布磁场对电路和元件的干扰（见图5）。6146的屏极供电在管子顶部，需要用导线连接，我采取的办法是用万用表的插头和插座，把插座固定在管子后面，小帽子和插头使用高温导线连接，这样既美观使用起来很方便（见题图）。

通过图5可以看到，每一根连接线头上都套有热缩管，焊接元件时使用的是温度很高的50W电烙铁，线头绝缘层很容易被烫坏，我在焊接线头时先套上热缩管再焊接，利用电烙铁的热量把热缩管套固在线头上，这样既保护了线头绝缘层，又起到美观的作用，一举两得，这样处理的线头看起来颇显专业。图6所示的是胆机内部装配完毕后的效果图，通过精心布置和制作达到了预期整洁有条理的目的。

在给胆机通电之前，再次检查一遍电路，确定有无接错线。通电后检查各部分电压是否正常，前级放大管6H9C的屏极电流控制在1.2mA~1.3mA，同时测量6146的屏极电流是否在预设的60mA~62mA范围内。让电路工作一段时间，再观察前后级工作电流是否有变化，可通过调整前后级的阴极电阻，把静态工作电流调整在范围之内，调整好以后再送上音乐，扬声器内发出了音乐声音。再检查一下噪声的问题，降噪的处理可以采用以下3种方法：（1）前级放大管灯丝采用一端接地方法；（2）把功率管的阴极接在前级放大管灯丝一端；（3）引入负反馈对降噪也有帮助。通过降噪处理后整机噪声很低，用万用表测量左右声道只有0.6mV和0.7mV，基本没有噪声的困扰了。

单端胆机输出功率不会很大，虽然这台6146输出只有6W，但推动一对90dB灵敏度10英寸落地箱，我很满意。试听音源是WAV播放器，解码器是乐之邦MD11，使用同轴线连接。听一首马头琴演奏的《草原上升起不落的太阳》，表现是清纯透切，琴弦细腻表现，能够让你沉浸在刻画入微的韵味之中，乐曲的演奏，让你能够感受到大草原的深沉与粗犷。再听听龚玥演唱的《雪山阿佳》，人声有伶俐之感，奔放时无拘无束，音乐背景细节一览无余地显现出来。看来6146“百听不厌”之称不是徒有虚名。



用PCM2702制作高性能USB声卡

◎梁文志

在假期中，我用PCM2702芯片制作了一款高性能USB声卡。现将制作过程介绍出来，愿与大家分享。

PCM2702是美国德州仪器旗下的BB公司（Burr-Brown）生产的一款USB DAC芯片，现已停产，也许是因为又推出来性能更高、价格更低的芯片的缘故吧。不过PCM2702做USB音频输出还是非常合适的，因为它的指标并不低，并且只有很单一的音频输出功能，正好我们只需要这个功能。虽然PCM2702没有生产DIP封装的，但我们可以使用转接板把它焊接在万用板上，让它与DIY接轨。

电路特点

此芯片需要两组电源电源供电，模拟部分供电电压为5V，数字部分供电电压为3.3V。一个一体化的USB接口，该接口符合USB1.0标准。全速数据传输速率为12Mbit/s，可接收16位立体声USB信号。动态范围为100dB，信噪比为105dB（典型值），总谐波失真加噪声为0.002%。通道分离度为103dB。采样率可选，分别是32kHz、44.1kHz、48kHz。内部有12MHz时钟发生器，需外接12MHz晶体振荡器，也可接有源晶体振荡器。它的封装是SSOP-28。

为了便于制作，我在网上找到了官方资料（见图1）和一些PCM2702的电路进行参考。发现官方电路的芯片周围使用了若干电容，细看发现都是电源退耦电容，对于这些退耦电容，我在焊接时只加上几个。理论上这样电路的稳定性或高频

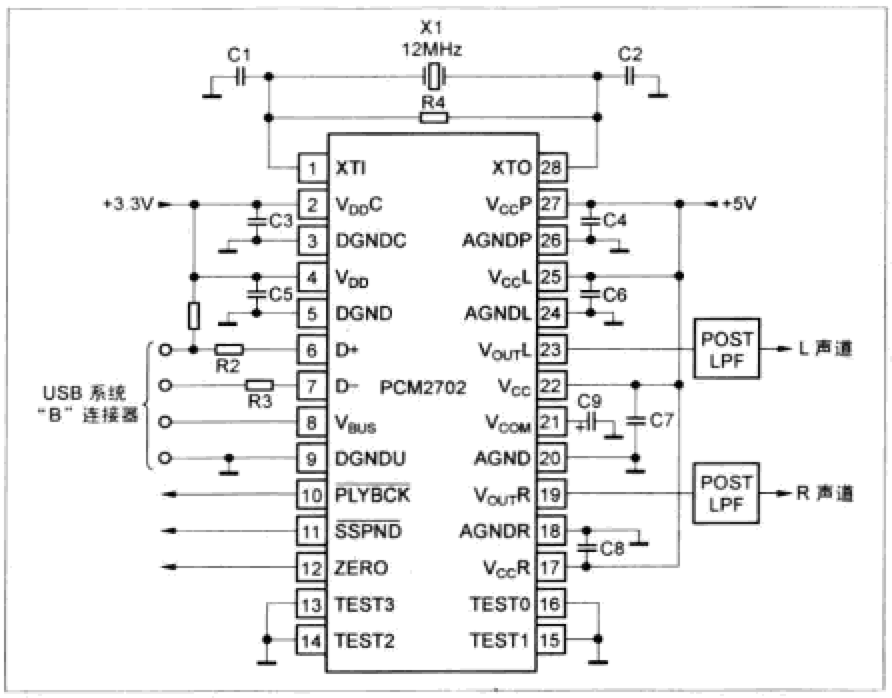


图1 PCM2702的官方资料

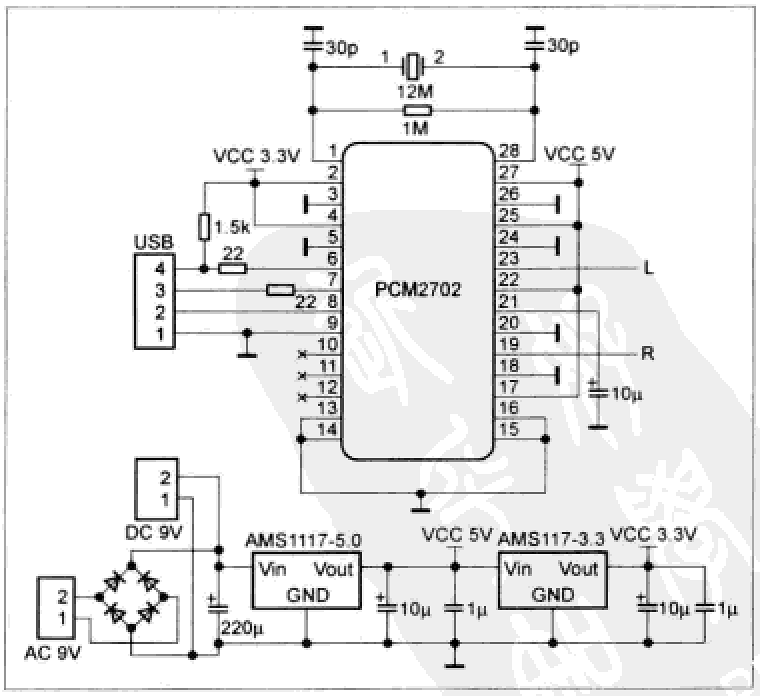


图2 修改后的电路图

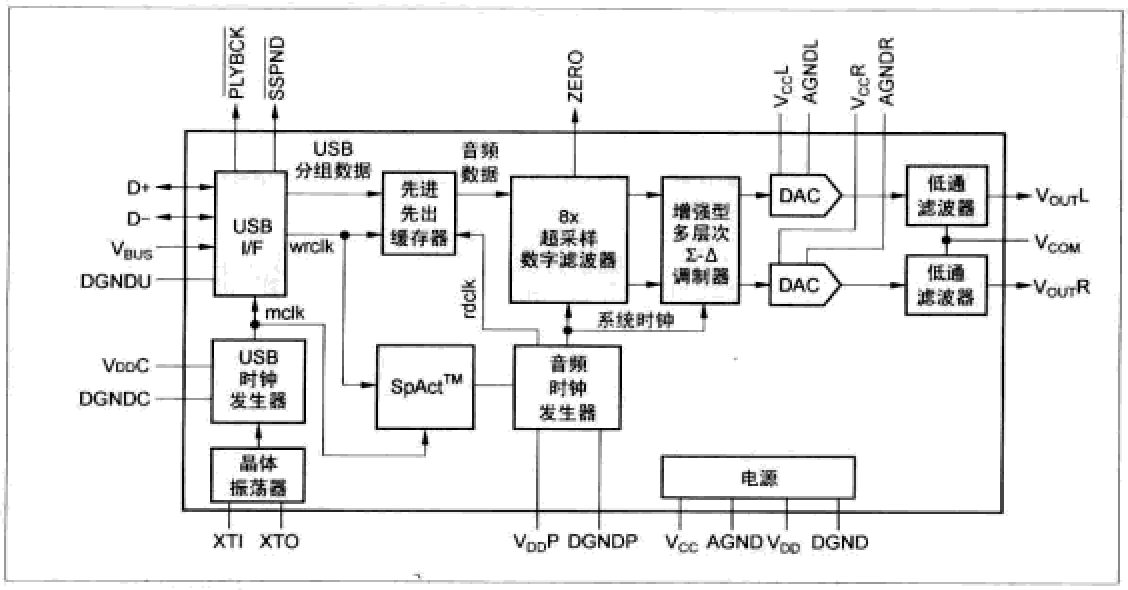


图3 PCM2702芯片的内部框图

噪声性能可能会变差，但实际使用时还没有出现问题。

由于是DAC芯片。工作时产生的高频噪声可能会较大，为了解决这个问题，在电源与地间加入了电容。它既能当电路的储能电容又能当电路的退耦电容，其作用是去除高频噪声。使用最广泛的是0.1μF的电容。据说这个电容的分布电感的典型值是5μH，共振频率大约在7MHz，并且对这个范围以下的高频噪声有很好的去除效果。但是在实际电路中，一般将退耦电容安排在与芯片的引脚较近的位置，且还会并联小容量的电解电容，这样做是为了更好地吸收高频噪声。

官方电路的元件参数最好不要更改，但为了方便在万用板上焊接，我对官方电路的元件布局进行了修改。修改后的电路更直观了（见图2），且加上了给PCM2702供电的稳压电路。

PCM2702芯片的内部框图（见图3）主要由三大部分组成：一是BB公司研制的增强型多层次Σ-Δ调制器，二是8×重复采样数字滤波器，三是信号输出用的低通滤波器。信号由左边的USB I/F输入，输出一个USB数据包（USB packet data），进入缓存器（FIFO）、8×重复采样数字滤波器（8×Oversampling digital filter）、增强型多层次Σ-Δ调制器（Multi level delta sigma modulator）、DAC及低通滤波器。同时音频时钟产生器和振荡电路也在配合电路工作。

在芯片的输出端还加入了低通滤波器（见图4），低通滤波部分的运放使用了TI公司的NE5532。因为这时的音频信号是带有高频噪声的，接入低通滤波器的目的是把高频噪声滤掉。

元器件选择要点

1. 电源中的稳压器：一组双15V给运放供电，运放可选择LM317、LM337或LM7815、LM7915。虽然LM317、LM337的可调精度比较高，但因为板子的面积比较小，采用它们后布线有一些难度，因此采用LM7815和LM7915。LM7815和LM7915是TO-220封装，与一些中功率三极管外形相似。另一组5V和3.3V给PCM2702供电。在此采用AMS1117-5.0(5V输出)和AMS1117-3.3（3.3V输出），且它们都是贴片封装，焊接在背面也不错，于是决定使用它们。

2. 整流桥：由于运放电路和PCM2702本身的电流不太大，因此我采用了2只3A、700V的整流桥。一只负责给运放供电，一只负责给PCM2702供电。实际使用1A的整流桥完全可以，但因我手中正好有3A规格的，况且3A的整流桥也不算贵，所以就用3A规格的，给电路留的余量大了起码还能增加电路的稳定性吧。我使用整流桥的一个原因就是它节省板材面积。如果大家条件允许，建议使用单个二极管构成整流电路，并在每个二极管两端并联一个0.1μF的电容，这样可以有效地减少射频辐射。

3. 耦合电容：级间耦合电容一般选1~100μF的。在本次制作中，PCM2702输出与运放级采用的是10μF化工轴向

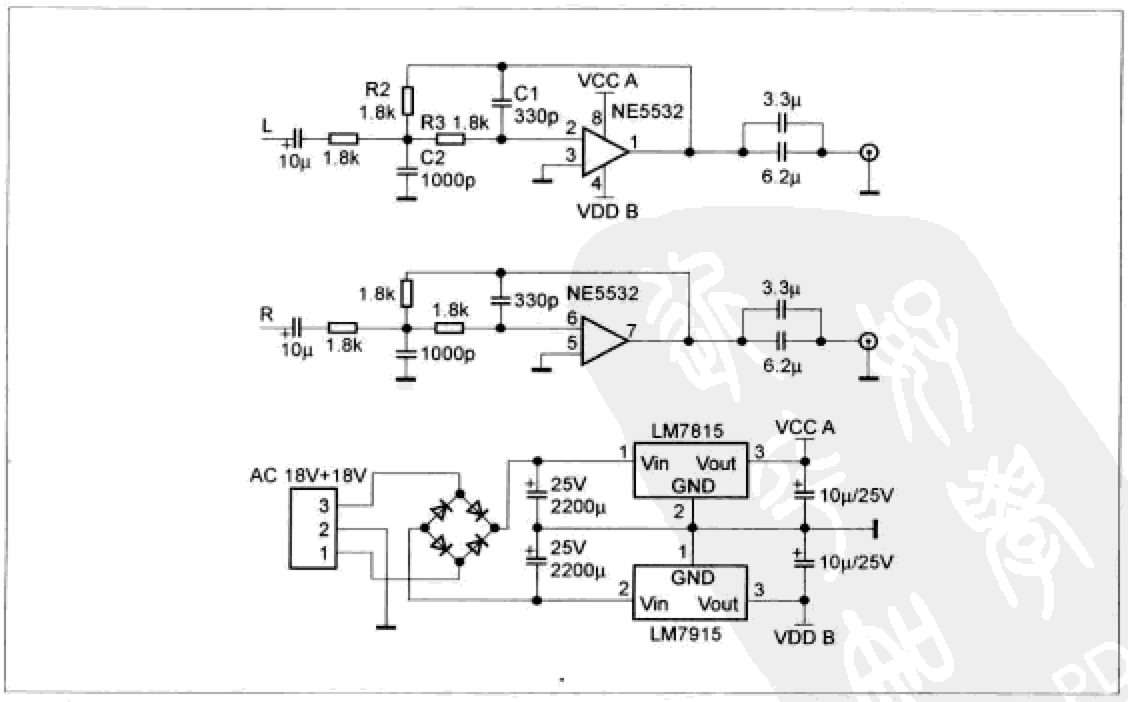


图4 电源电路

电解电容。运放级与输出端口使用了2个BENNIC XPP 3.3μF和6.2μF电容并联输出。

制作解析

一般在焊接有集成芯片的板子时我习惯先焊接集成芯片，再焊接其他元器件，但由于此芯片是贴片封装，所以使用了转接板。在市场上能够买到这种SSOP28转DIP的板子（见图5）。因为芯片比较昂贵，为防止芯片烧坏，在焊板子时先焊上一个DIP28的集成电路插座，等全部焊接完成后再插入PCM2702。

官方给出了两种晶体振荡器的连接方式：12MHz无源晶体振荡器和有源晶体振荡器。晶体振荡器并联在1脚和28脚两端。和51单片机相比，在用万用板焊接时的元件布局就方便得多了。因为1脚和28脚就在芯片的最上方嘛。1脚是TX1，28脚是TX0。并联1MΩ电阻是为了让晶体振荡器更好地工作。晶体振荡器和两个到地的电容构成振荡电路，容量一般取

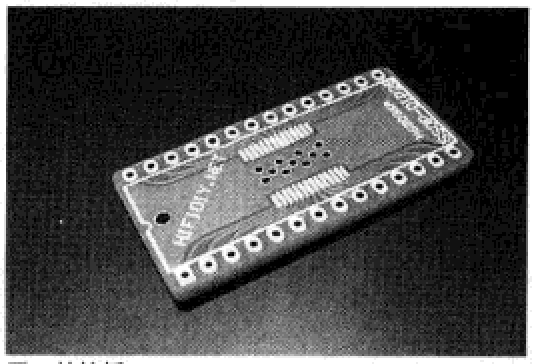


图5 转接板

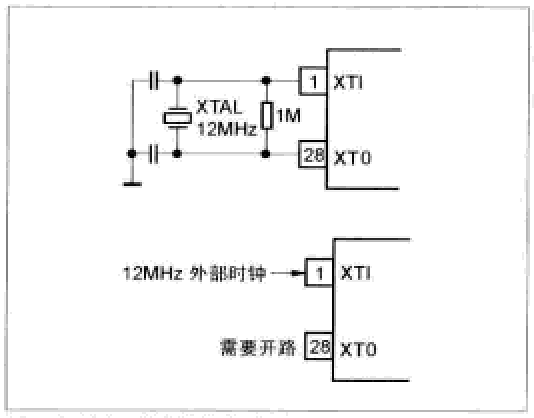


图6 与外部时钟相接的端子

20~30pF就可以。我这次使用了贴片0805封装的电容，焊接在了走线的那一面。安装有源晶体振荡器也是为了电路更好的表现。由于手头没有有源晶体振荡器，也就没使用。但要说下有源晶体振荡器的连接方法：官方文件中特别指出1引脚TX1接外部时钟端。28脚TX0需要开路（见图6），大家要想使用有源晶体振荡器要注意这点。

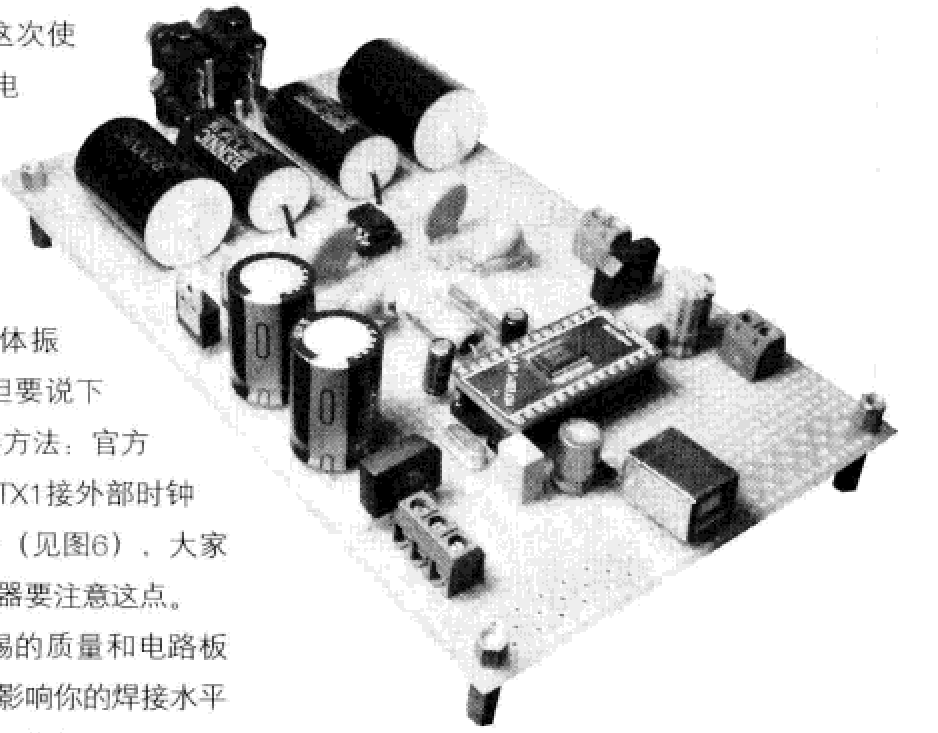


图7 制作好的电路板

烙铁的温度，焊锡的质量和电路板的工艺在很大程度上会影响你的焊接水平和心情。我使用的是中亚焊锡、20W宝工烙铁及单面环氧镀锡板，这三大项是蛮重要的。除了焊接水平以外，有比较不错的工具、耗材，使你的制作变得轻松自在。烙铁有20W就足够。有朋友抱怨35W的烙铁偏小，这可能是你的烙铁头已经烧死、不沾锡、烙铁头导热差等原因造成的。焊接电阻、电容等类的元件，我认为20W的烙铁比较合适。功率过大、温度过高，可能会对电路板或元件造成伤害。

万用板有两种：一种是焊盘为铜层且没有镀锡的单面电木板，这种板材的可靠性较差，初学者在操作时经常将焊盘损坏。另一种是质量较好使用环氧树脂材料镀锡、加绿油的板子。至于选用什么样的板子，大家根据自己的情况而定。

除了焊接工具以外，掌握适当的焊接技巧会使焊接变得轻松。我们在焊接板子的时候往往是先处理性质比较统一的，再去处理杂项。一般是焊接完所有的电阻后再焊接电容、在连接地线的时候一定要一口气把它连接完，否则之后可能会以为地线已经全部完成，而最终找不到错误，即使地线连接到某段，也一定要做好标记使自己心中有数。

焊接USB接口，焊接完成后对照电路图焊接芯片底座，并给USB口留出相应的位置安装USB口与芯片间的元件，具体距离视实际情况而定。下面就是用笔和纸把焊接到板子上的USB口的引脚的功能标注一下，主要为了防止焊接时正、负极颠倒了。然后再焊接USB口与芯片间的元件，即两个电阻和两根导线。

焊接好板子（见图7）就可以进行测试了。第一次测试我没有成功，电脑检测到是外设的错误。经过多次检查，最后发现是因晶体振荡器损坏造成的，由于晶体振荡器比较脆弱，在使用时要加以小心。还有一个问题曾遇到过，就是USB数据的两根线正、负接反造成了不能正常工作，这两点需要特别注意。

测试完成并确保所有连线都正确后，可将变压器（使用两个变压器，单9V、5W和双18V、20W变压器）接入220V，将USB线插入电脑后，电脑便自动识别，默认使用我们新安装的PCM2702声卡。至于音质，和电脑本身的音频输出似乎没有什么区别。可能是由于播放普通的MP3格式音乐的缘故吧，或者是我这副耳机本身性能不是很好，不管怎样，体验了一回，了解了一下，有了收获。

2011年美国代顿业余无线电节大会小记

◎陈平（BA1HAM）

延绵60载的火腿盛会

在离美国俄亥俄州的代顿小镇8km的乡村中，有一座由几个球馆和一大片停车场组成的约400米见方的空间。今年5月20-22日，中国无线电协会业余无线电工作委员会（CRAC）组织的由CRAC总部、北京市无线电运动协会、上海市无线电运动协会和业余卫星专业团队组成的13人团队来到这里，参加第60届美国代顿业余无线电节大会。

代顿是一个以萌生众多发明专利为豪的小镇，飞机发明者莱特兄弟之一就出生在这里。1952年，代顿业余无线电协会（DARA）在这里举办了一次业余无线电节活动，大受美国各地业余无线电爱好者的欢迎。此后，这项活动成为每年一次的例行活动，雷打不动，从未中断，规模也越办越大，发展为由美国业余无线电协会（ARRL）主办的国际性的业余无线电盛会，也是世界最大的业余无线电节。它的常用英文名是用火腿（ham）和会议（convention）嫁接出来的“Hamvention”。

代顿业余无线电节大会活动通常由三部分内容交织在一起：业余无线电社团和业余无线电器材厂商展台组成的占据3个展厅的博览会场，业余无线电专题论坛会场，以及室外的业余无线电跳蚤市场。

CRAC首次设置中国展台受到欢迎

美国ARRL、日本JARL、德国DARC、英国RSGB等业余无线电大国的国家业余无线电协会每年都会在代顿展会设置展台，宣传本国的业余无线电情况，与广大观众展开面对面的交流，并提供现场奖状申请受理等服务。除此之外，还有很多地方性业余无线电民间组织和非营利机构、有一定业务专向的俱乐部来租用展台，介绍自己的活动和有关知识，展示自己的作品和软件、小产品等。

今年CRAC第一次在代顿设置了中国展台，通过图片、业余无线电书籍和刊物样品、国产ARDF测向机等器材样品，向参观者介绍了近年来我国业余无线电活动的发展状况，并以展台为基础，接待了大量业余无线电爱好者的咨询，进行了广泛的信息交流。美国业余卫星组织AMSAT也邀请我国的业余卫星团队展示了我国第一颗业余卫星“希望一号”和业余卫星通信活动的有关资料。CRAC的展示受到了国外业余无线电爱好者的普遍关注和欢迎。

在美国工作的钮小鹏（K1NIU/exBZ1QL）20年前曾担任清华大学集体电台（BY1QH）的台长，把BY1QH活动搞得有声有色，这次专门赶到代顿全程协助CRAC代表团工作。

CRAC展台前的人群

CRAC副秘书长尹虎（BD1AZ）和德国飞行员莫斯达法（DL1BDF）在中国展台亲切交谈

肯特（WA5VJB）（左）从CRAC展台得到刊有自己设计的天线的中国《CQ现代通信》后，高兴地与AMSAT展台的朋友在我国业余卫星团队旗帜下照相

世界最大的业余无线电交流平台

由于世界各地很多发烧级火腿大腕的光临，加上世界几乎所有小有名气的业余无线电器材厂商的加盟，代顿会场成为世界上最大的业余无线电界的交流平台。CRAC代表团也在这里会见了众多的新老朋友。

CRAC 中国展台的隔壁就是国际业余无线电联盟 IARU 的展台，这使得 CRAC 代表有很多机会与 IARU 主席提姆（VE6SH）、秘书长罗德（W6ROD）等世界业余无线电界的领军人物进行了比较广泛和深入的交流。美国联邦通信委员会 FCC 的公共安全和国土保安局高级主管库特（N3GQ）还专门来到 CRAC 展台看望。

来到中国展台的老朋友中，有参与国外最早向我国捐赠业余电台设备的美国爱好者比尔（K5FUV）、华人火腿王耿介教授（KU6T）等，有曾大力支持和多次参加我国BS7H黄岩岛DX远征活动的日本著名DXer沟口（JA1BK）、美国火腿提姆

（N4GN）等。这些30年来曾为我国恢复和发展业余无线电事业付出了心血的老朋友看到我国业余无线电队伍的不断壮大，表示非常高兴。

来到中国展台的还有在世界重大灾害的应急通信服务中发挥了突出作用而受到瞩目的火腿，如 1985 年墨西哥城大地震中唯一一个用短波业余电台向外报出灾情的火腿路易斯（XE1L），2008 年东南亚海啸中在印度洋安达曼与尼可巴群岛用业余短波电台为当地政府提供了与大陆间的唯一通信渠道的女火腿芭拉迪（VU2RBI）。

先进技术的橱窗

参加代顿博览的业余无线电器材厂商展位大约在500个左右，展出内容包括各业余频段收发信机、射频功率放大器、天线调谐器、中继台双工器、天线、天线杆塔、数字终端和其他附属设备和附件、线缆、测试设备、工具、软件、元器件，应有尽有，其中不乏最新一代的产品和最先进的技术应用设备。例如，大部分通信机展商都提供了软件业余无线电收发信机，很多展台的收发信机都连接了大屏幕显示器，展示数字模式操作界面和中频频谱或瀑布图。

厂商博览展区的最大特色是，因为参观者都是有一定技术基础的业余无线电爱好者，厂商代表也都是具有业余无线电操作经验、熟谙技术细节的工程师或者经营者，因此随处都可见参观者和参展方热烈讨论的景象。对于参观者来说，这无疑像是走进了一所知识殿堂，到处都有新知识，到处都可以找到试一试、摸一摸的机会，到处都是可以深入答疑的好老师。

等候申请奖状的人群

观察新产品的内部构造

Yaesu等龙头厂商的展位总是热闹的地方

会场常可见到人们头顶天线，以便在及时分享各自觅宝的信息时腾出双手

软件无线电产品成为新潮

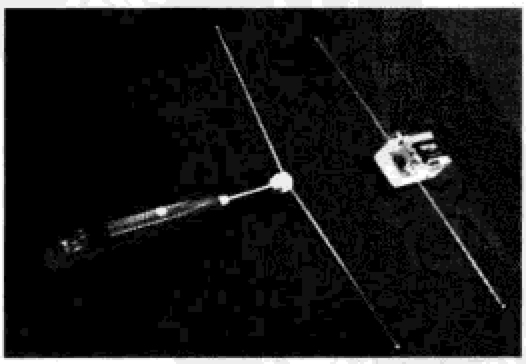
挑选手动天线调谐器

经典与时尚的融合

我国的群众性业余无线电活动曾经中断了将近半个世纪，恢复开放至今不过20年时间，这造成我国业余无线电爱好者年龄结构相对年轻。而美国等发达国家在20世纪的60～70年代达到了战后业余无线电发展的高峰，当时的发烧火腿现在已经步入老年，因此在代顿的人群中可以看到很多老业余无线电爱好者。由于队伍的年龄更替比较平稳、连续，我们可以感受到观众的整体风格明显地带有经典业余无线电的色彩：友善、虚心、谦卑，看重技术和知识的进步。会场中也有大量的美国中青年火腿，从笔者的观察看来，他们的基本风格和老火腿的差别不像我们国内习惯的那样明显。

几十个手键和自动键展位都很受欢迎

这种延续性也体现在展示的内容中。例如莫尔斯电码，虽然已经把很大的



用廉价的现代材料做成的火花发射机和粉末检波接收机实验套件

空间让给了丰富的现代通信方式，但是展会中目不暇接的有关CW的产品还是吸引了大量的中青年观众，数十个电键展台上，数以百计的各式电键前总是不断有人在试用。

甚至是马可尼和波波夫在1886年所使用的火花式发射机和粉末检波接收机，也被做成了现代化的实验套件加以展示：用煤气灶用的电打火器，装上两根1/4波长硬导线振子，就成了一个火花式发射机；用玻璃管装上铁粉，两端接上一对1/4波长硬导线振子，同时串联到电池、发光二极管和限流电阻构成的电路中，就是一个粉末检波接收机，可以接收到10m远的火花发射机信号。

经典与时尚充分融合，这也许对于夯实业余无线电爱好者个人以及整个业余无线电群体的发展基础具有重要的意义。

望不到头的跳蚤市场

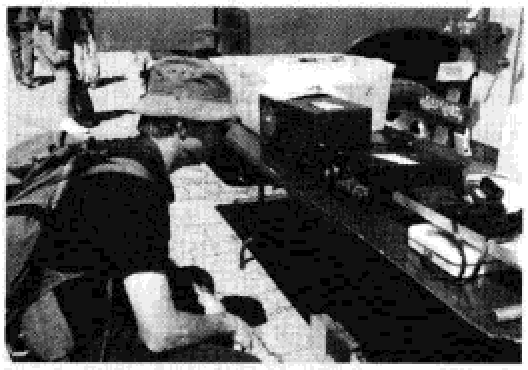
在业余无线电的圈子里说代顿业余无线电跳蚤市场闻名天下，那可是一点也不假的。几百辆汽车各占一方，支起后盖，搬下一堆有待销售或者调剂的宝贝，洋洋洒洒铺满几万平方米的场地。笔者很想尽情驻足细看，过饱眼福，但因展台有任务在身，只能抽空匆匆浏览。顺序看了几次，竟然至少还有三分之一的摊位没有走完，其规模只能用“壮观”二字来感叹。

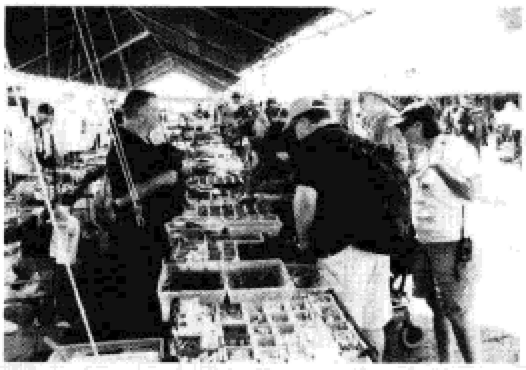
跳蚤市场一角

跳蚤市场的摊主大体上有三类，一是业余无线电爱好者，有些宝贝不想用了，拿出来调剂一下；二是专门的二手设备商家，当然不能错过趁盛会做生意的机会；三是一些特殊的玩家或者俱乐部，例如专门研究第二次世界大战美军电台和德国埃尼格玛密码机者，他们的乐趣之一在于亮出稀有宝贝进行表演或者讲解，但其中有些东西是只让看不让买的。

跳蚤市场的商品种类多如牛毛，数不胜数。从100年前的无线电设备到现代收发信机和数字通信设备，从整机到螺丝钉。就种类而言，只有想不出的，没有找不到的。

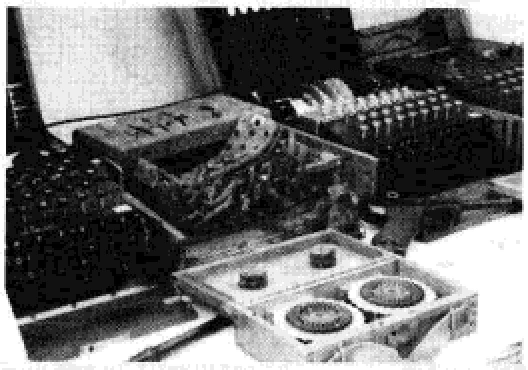
令我们好奇的是，所有的摊主，包括专门的二手设备商家，几乎都是以一种休闲的态度做买卖，看不到我们常见的“促销”和天花乱坠、气急败坏的自我介绍，价格也相当实在，通常可以砍价。对于古品，买家几乎都是出于真正的爱好而不是为增值投资，价格没有炒作的痕迹，花不到100美元便可以挑到一部成色不错的20世纪40年代的手提式交直流两用中短波电子管收音机，比国内价格还要便宜。正因为很多古品都是在业余无线电技术行家之间流通，所以卖家对于它们的特点了解得非常深入，你可以向他们学到很多东西。很多卖家简直就是守着宝贝晒太阳，无论你是否真的要买，他们都会悠闲地坐在沙滩椅上，淡然地看着人们在他们的百宝箱里翻来翻去。


每个摊位都富具诱惑力


跳蚤市场里廉价商品琳琅满目应有尽有

各种稀有宝贝使BD1AZ爱不释手

这儿的设备只是演示给大家观赏的


大名鼎鼎的德国埃尼格玛密码机，摊主会定时向观众作详细讲解

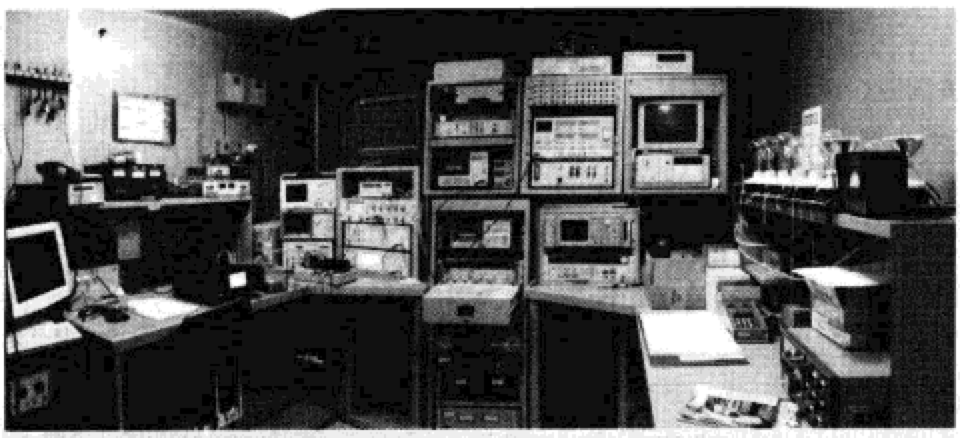
很多摊主都在这里悠闲自得地享受生活

ARRL总部之行

代顿业余无线电节后，CRAC团队部分成员访问了美国业余无线电协会ARRL位于康乃狄州纽因顿镇的总部，这也是IARU秘书处的所在地。

ARRL的英文全名是“American Radio Relay League”，按照字面凑起来就是“美国无线电转信协会”。但这是一个业余无线电早期历史遗留下来的名字，当时无线电通信仅使用长波频率，远程通信只能靠多对电台之间逐段转信，业余无线电爱好者的兴趣也就集中在如何把业余信息转发到更远的地方。随着技术的进步，这个英文名称已经失去了原来单词的含义，现在ARRL的公文信头则只印有ARRL的缩写大字和“国家业余无线电协会”的注解，只在信纸的下端才以很小的字号列出英文全称，而我国业余无线电界则早在50多年前就采用了“美国业余无线电协会”的标准译法。

ARRL总部是世界最大的业余无线电民间组织运作机构，拥有100名雇员，负责会员服务、书刊出版、活动管理、实验室、QSL卡片管理、财务、公关等工作，并受政府FCC机构委托，组织实施面向社会的业余无线电执照考试，以及组织面向社会进行业余无线电干扰处理指导的专门队伍。总部机构的财政运作模式与我国民政部所要求的社会团体运作模式相似。协会机构依靠会费、会员服务收费、社会赞助和业余无线电出版收入维持运转，美国的慈善捐献观念比较普遍，每年都还会得到可观的会员捐赠。



ARRL 总部实验室的屏蔽室。主要业余无线电厂商都会把新产品送到这里检验、试用，由ARRL 技术人员做出测试和试用报告提供给会员，作为选购设备的参考

W1AW 发射机柜的一部分

ARRL总部院子里的为公众服务献出生命的火腿的纪念碑

ARRL总部电台W1AW的几个操作控制台之一

ARRL 总部的自动发信处理机，打印信件信封、折叠、封装等全部实现自动化

总部实验室为ARRL在技术上的领导地位助了一臂之力，很多新课题就是在这里开发、实验后，写成文章加以出版传播的

令人鼓舞的数字

一般认为，世界业余无线电活动的规模从1970年左右直线上升，到20世纪90年代中后期趋于饱和。但这次在代顿和ARRL总部访问中得到的一些数字却是出乎意料的，对于业余无线电爱好者讲来也是令人鼓舞的。

目前ARRL的会员人数约为15.6万，除掉家庭会员，其中有选举权的约为14万，这与1995年笔者从ARRL得到的大约6.4万会员的统计相比，有明显增长。从ARRL的QSL管理局统计看，2010年出局卡片总数为90. 8万，也就说，尽管现在越来越多的火腿改用了电子卡片，但通过管理局寄出的卡片还是在2009年的60.8万基础上增长了近50%。这些数字说明美国业余无线电界的活力还是在不断增加。

相比之下，有些条件相似的国家的业余无线电活动规模和活力似乎有所缩减。

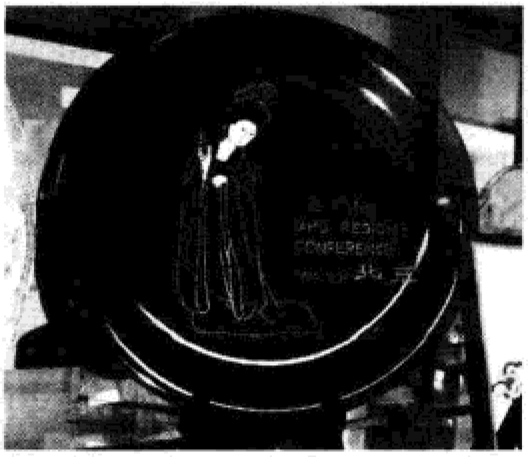
如果做一些分析比较，可以看到，美国政府及相关机构近20年来为促进业余无线电的发展做了大量实事。例如，美国国家航空航天局为每一个航天机组配备了业余无线电操作员，还推出了旨在启发青少年学习无线电兴趣的SAREX计划和ARISS计划，鼓励孩子们与宇航员通话，FCC还为业余无线电应急通信增配了5MHz附近的SSB频点等。ARRL也为改善会员利益做了不少努力，例如为会员提供每一种业余无线电新设备的测试报告和试用评价、设法为会员推出设备保险、发行会员信用卡等。可见，业余无线电事业是否发达，与各国的促进政策、社会的支持、合理的组织机构和敬业的工作人员等有着密切的关联。

源远流长的中美业余无线电交流

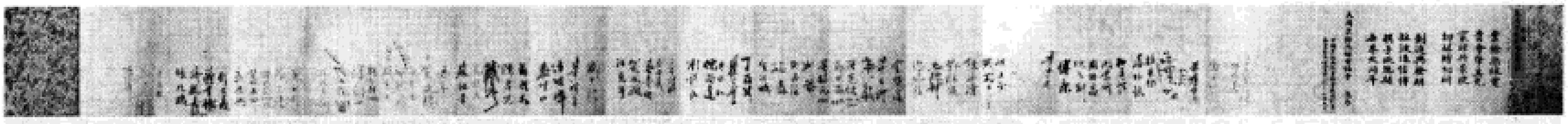
在ARRL总部走廊的陈列室里，陈列着各个历史时期的业余无线电设备，也珍藏着各国业余无线电组织赠送给ARRL的礼品。ARRL藏品中令中国业余无线电爱好者备感兴趣的，是当时的“中国业余无线电协会（CARL）”于1947年5月5日第8届中国业余无线电节赠送给ARRL的一个折子，上面用毛笔工整地书写着一首诗：“业余无线电，贵会肇其先。寰球共景徙，切磋时相研。创造与发明，短波通信传。携手欲勉期，世界大同年。”后面有70余位老火腿的亲笔签名。这些签名背后蕴藏着很多关于我国业余无线电的故事：许毓嘉老前辈（BA4CH）至今还在上海活跃于业余短波频率，李志雅先生（B6IOW）在美国加州，前些年还寄来了当年《CQ》协刊的影印件，黄履中先生之子黄华容先生（BV2BO）十余年来连任中国台湾“无线电协进会”副理事长，还参加过1993年在北京举办的IARU三区ARDF裁判培训，并取得IARU的ARDF国际裁判员资格，一直致力于推动海峡两岸的无线电学术交流；苏祖圭、苏祖修、苏祖国兄弟于1924年创办的早期民族无线电工业“亚美无线电公司”至今还在，只是演变为了“上海亚美微波仪器厂有限公司”。

在陈列柜里意外看到一个瓷盘，唤起了笔者的回忆。那是1997年我国承办IARU三区大会时赠送给各代表团的礼品。因当时经费有限，经过反复勘察，在北京红桥市场选中了一款价廉物美的礼品盘，讲好可以定刻花样。笔者设计了一个手握对讲机的“古代侍女”，象征性地表达中国的悠久文化特色和业余无线电两个意思。

其实，美国业余无线电爱好者也曾给我国业余无线电界带来过很多渗透着民间友谊的赠品。改革开放后，一些国家的业余无线电爱好者曾为支持我国恢复集体业余电台活动提供了不少技术和设备上的帮助，其中美国火腿是最早伸出援手的。1980年，美国著名业余无线电爱好者董.瓦兰士（W6AM）参加了由新华社组织的参观团，并访问了中国电子学会，成为最早访问新中国的外国火腿。接着，美国的7位火腿和加拿大的5位火腿通过加拿大华人黄国安先生（VE7BC）于1981年向BY1PK赠送了恢复开台使用的电台设备以及28000余册英文ARRL《业余无线电手册》等技术书籍。在1995年至2007年间我国进行的多次BS7H黄岩岛DX远征活动中，ARRL和美国业余无线电爱好者也曾给了我们很大的支持。近几年，由人民邮电出版社《无线电》杂志与ARRL合作，引进了ARRL业余无线电丛书，为我国火腿了解、学习现代业余无线电技术提供了有益的帮助。



来自北京的侍女持对讲机纪念瓷盘



我国老业余无线电爱好者1947年赠送给ARRL 的礼品折子

借鉴国际经验，为中国人造福祉

业余无线电是一种嗜好，用俗话说就是“玩”。但是业余无线电为人类培养了大量的具有优秀素质的技术人才，也在很多自然灾害中为社会提供了大量义务的应急通信服务，被国际政府间组织ITU定为无线电的正式业务。试想有多少“玩”能登上如此高雅的地位？可惜的是，我们的历史曾经错过了世界业余无线电发展的一段黄金时期。

太阳黑子第24周期活动高峰即将来临，今后几年的短波传播条件将为我国业余无线电带来新的发展机遇。光阴似箭，日月如梭，时机总是一滑而过，这样的机遇人生中只能拥有区区可数的几次，有识之士需要牢牢把住这个时机。

其实，与很多常见的休闲活动相比，“体谅、忠诚、进取、友善、均衡、爱国”的守则、非营利的活动宗旨、通信规范的制约和自律，使得业余无线电具有更显著的促进社会和谐的特性，我国业余无线电的长期历史实际也完全证明了这一点。但由于历史原因，我国的业余无线电活动及其管理起步很晚，导致业余无线电爱好者本身、业余无线电管理人员、社会民众都还存在着对业余无线电的模糊认识乃至疑虑。一些新手不是通过学习把自己融入业余无线电的大学校，而是用自己的随心所欲侵蚀着火腿队伍的素质，这些成为影响我国业余无线电活动健康发展的因素。

不过，好在我们遇到的很多情况是别人早已遇到的情况，我们要走的很多路也是别人早已走过的路，我们完全有条件利用别人已经完成的攀登，选择一个较高的起点来出发。这就要求我们的业余无线电爱好者和管理者加强学习，从国外数以千万计的业余无线电爱好者和政府管理者的实践中，总结出值得借鉴的经验，树立现代化的理念和目标，通过推进业余无线电事业的健康发展为中国人造福祉。

（附注：读者如需有关代顿活动的更多照片，可到中国无线电协会业余无线电工作委员会网站下载：http://crac.rachina.org.cn 。）

第2届全国高校电子信息实践创新作品评选活动在北京圆满结束

2011年10月30日，由中国电子学会主办、电子设计工程师认证项目办公室承办的“第二届全国高校电子信息实践创新作品评选活动”在北京圆满结束，来自全国高校152件作品参加了本次评选。

高校电子信息实践创新作品评选活动的目的是为了推进全国电子信息类专业各类院校教学改革，提高教学质量和促进创新型人才培养，宣传推广优秀的高校电子信息类实践教学作品、教学改革措施。评选活动分为高职、基础、综合及创新四组，设置了特等奖、一等奖、二等奖、三等奖及多项单项奖。其中，南京工业职业技术学院的“计算机投影无线遥控发射/接收装置”获得高职组特等奖，聊城大学的“智能移动对抗平台”获得基础组特等奖，中山大学南方学院的“基于无线的物联智能家居控制系统”获得综合组特等奖，深圳大学机电与控制工程学院的“基于BDM+9SXS128系列嵌入式的板球系统”获得创新组特等奖。深圳大学的“基于BoeBot平台的两轮自平衡直立小车”、华东理工大学的“流水线物件传输控制系统”、电子科技大学中山学院的“基于智能小车的单片机教学平台”、徐州市广播电视大学的“数字电路实验实训箱”获得各组的“与教学结合最紧密作品奖”；广东农工商职业技术学院的“光立方”、聊城大学的“MINI POV双显示时钟”、山东大学的“梦幻鼓槌”、中国计量学院的“基于应答模式的盲人室内定位与导航系统”获得各组的“最具创意作品奖”；南京工业职业技术学院的“计算机投影无线遥控发射/接收装置”、天津工业大学的“废弃树脂瓶盖分类系统”、中山大学的“智能热转印机”获得各组的“最实用作品奖”。

颁奖仪式

获奖者展示“基于BDM+9SXS128系列嵌入式的板球系统”

获奖者展示“基于无线的物联智能家居控制系统”

此项评选活动每年举办一次，第3届全国高校电子信息创新作品评选活动将于2012年举行。

耳放制作专题

不同风格的耳机放大器3款

◎臧海波

由于环境和条件所限，不少喜爱音乐的发烧友选择“轻量级”的音乐欣赏器材——高保真耳机，来欣赏音乐。使用现有的音源，准备上一只高保真耳机，还要有与之相匹配的耳机放大器，才能发挥出听音器材的理想效果。

与音响功放不同，商业级的耳机放大器，可供选择的只有屈指可数的几家品牌，且普遍造价高昂。于是，就有了这样一个现象，国内和国外的各大知名耳机论坛都设有耳放DIY板块，且人气都很火爆。许多高明的DIY爱好者把自己设计的耳机放大器作品拿到论坛上来讨论、优化、改进，并纷纷推出自己的准商业级耳放。可以这样说，耳机放大器技术的发展，和广大热情的DIY爱好者的参与是分不开的。

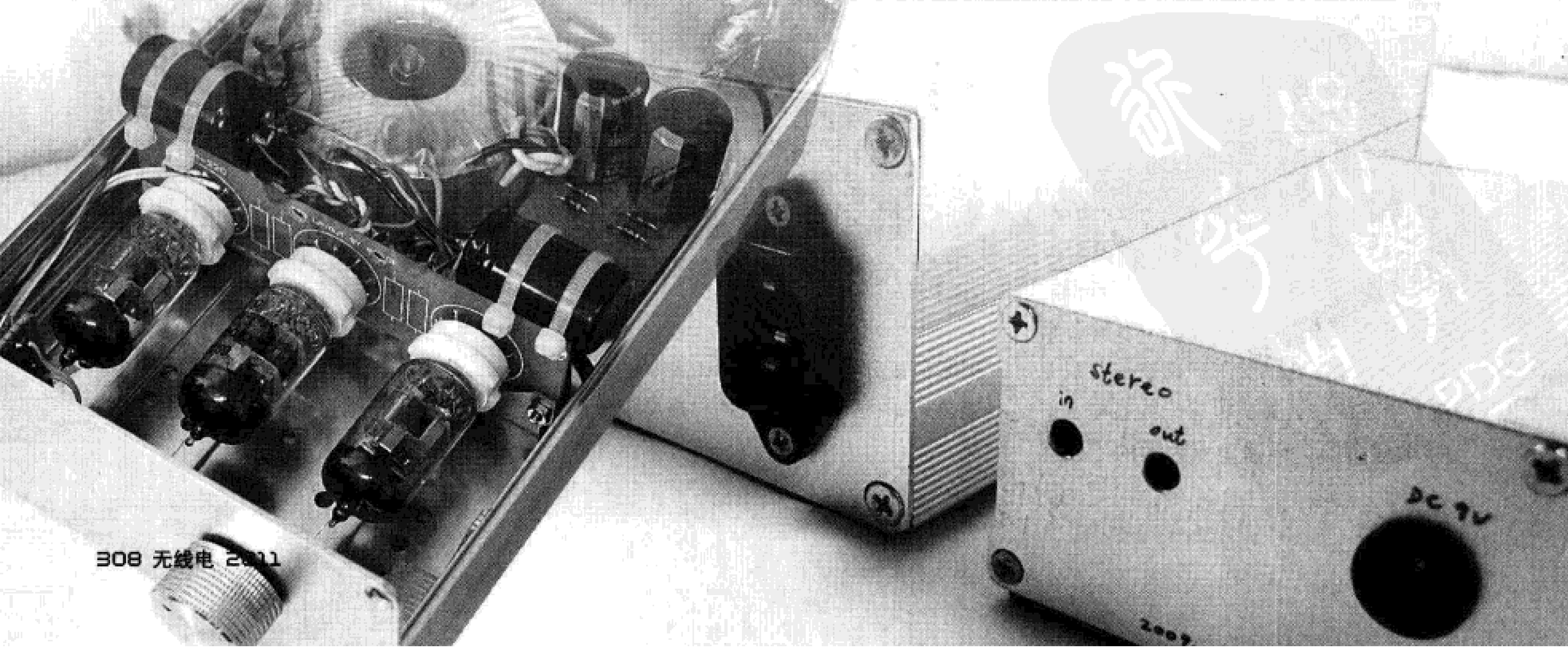
耳放与功放相比，有以下几个得天独厚的优势，非常适合音响DIY爱好者作为自己学习、制作的课题。

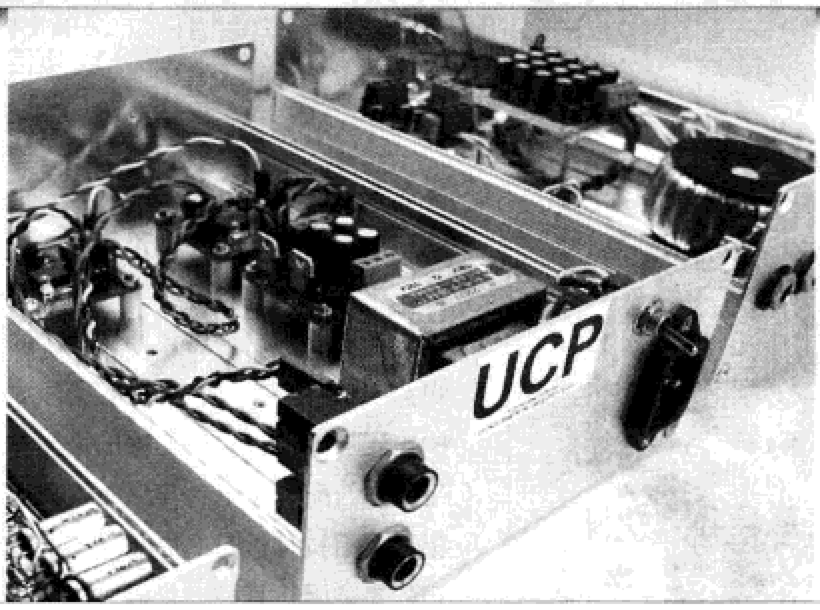
1. 耳放是一种小型的功率放大器，制作一部耳放所需的原材料都是小功率元件，造价比功放低得多。即使制作一部纯甲类耳放，散热片、变压器、输出管也可以使用较小的规格，投资要比制作一部甲类功放低很多。

2. 耳放与功放相比较，可以说是“麻雀虽小，五脏俱全”。功放电路里使用到的技术，耳放一样可以拿来用，功放的制作工艺、走线和布局，也可以借鉴到耳放里来。制作一部耳放，可以学到和制作一部功放同样多的知识。甚至从某些方面来说，耳放有着比功放更高的设计要求。比如，常见Hi-Fi音箱的标称阻抗通常为4～8Ω，而高保真耳机的阻抗范围则比较宽，通常为32～600Ω。为了使一部耳放能搭配各种规格的高保真耳机，就需要对它的输出阻抗进行专门的处理。

3. 耳放体积小。业余制作对所需场地、工具的要求都不高，发烧友之间交流方便。实际上，许多便携式耳放只有手机大小，可以放在口袋里边走边听。如果举办个DIY爱好者之间的耳机、耳放交流聚会，每人背个包就好了。如果是DIY功放的交流，那恐怕就要动用汽车了。

本期，我将按主要构成器件的不同（集成电路，晶体管，电子管），给大家介绍3款制作简单、风格各异的耳机放大器。





集成电路耳放制作方案

UCP2耳放

◎臧海波

这是一部完全由集成电路组成的耳放。UCP为英文通用集成电路放大器的缩写，2为第二次修改的意思。

UCP2的结构采用运算放大器-缓冲器的形式，即耳放电路由两级构成，第一级是由运放构成的电压放大输入级，第二级是由缓冲器构成的输出级。在网上，我们可以找到许多运放-缓冲（简写OP+BUF）耳放的设计实例，其中比较经典的运放与缓冲的搭配为：OPA627配BUF634，AD8610配HA5002或EL2001。电路的电压增益一般在10倍以下。

图1是UCP2的电路原理图，包含了一个声道的放大部分。图2所示是为这款耳放设计的电源电路。

制作放大电路部分的元器件如表1所示。制作电源部分所需的元器件如表2所示。制作所需的其他材料如表3所示。

UCP2耳放对元件没有特殊的要求，只需按照音响电路的标

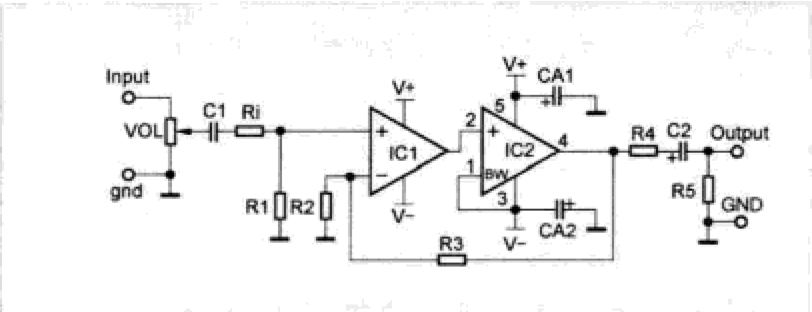


图1 UCP2耳放放大部分（一个声道）的电路

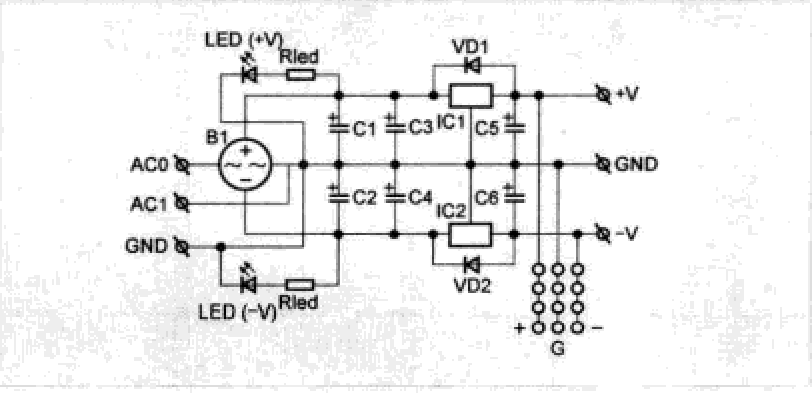


图2 UCP2耳放电源电路

表1　制作放大电路部分所需元器件

元件编号	规格	数量
VOL	47kΩ双联电位器配旋钮	1
Ri	1kΩ	2
R1	100kΩ	2
R2	1.5kΩ	2
R3	10kΩ	2
R4	22Ω	2
R5	10kΩ	2
C1	0.1μF/63V薄膜电容	2
CA1，CA2	22μF/35V电解电容	4
C2	470μF/63V电解电容	2
IC1	音频通用单运算放大器	2
IC2	LME49600	2

表2　制作电源部分所需元器件

元件编号	规格	数量
B1	2A/400V全桥	1
LED	3mmLED	2
Rled	10kΩ	2
C1，C2，C3，C4	2200μF/63V电解电容	4
IC1	LM7815	1
IC2	LM7915	1
VD1，VD2	1N4007	2
C5，C6	10μF/25V钽电容	2
变压器	双15V/20W	1

表3　所需其他材料

规格	数量
铝型材机箱	1
塑胶脚垫	4
电源开关	1
信号输入、输出插座	2
IEC电源线配插座	1
M3螺母、螺钉、支撑柱	适量

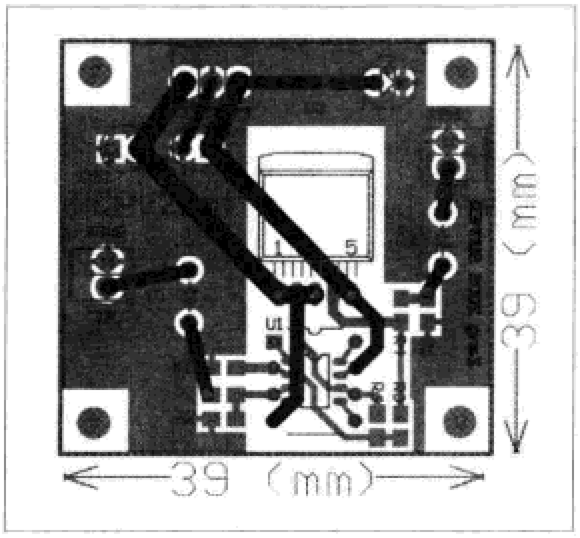


图3 放大电路模块的PCB布局图

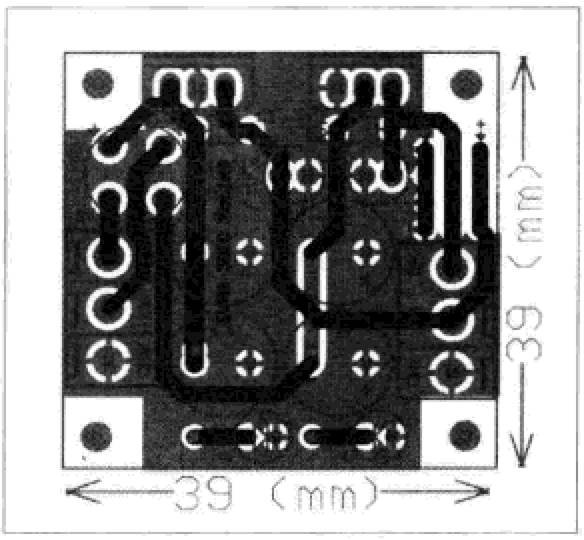


图4 电源模块的PCB布局图

准选择就可以。注意，一定要保证6片集成电路均为全新正品。网购元件时，应该优先选择信誉可靠的商家，最好不要图便宜，买拆机的集成电路。电阻可以选择国产的铜脚金属膜1/4W电阻。信号耦合和电源退耦电容对声音影响较大，大家可以根据自己喜欢，选择高品质的音频专用电容。

UCP2的输出级缓冲器没有采用常见的BUF634，而是选择了比较冷门的美国国家半导体公司（英文简称NSC）所生产的LME49600。这有两个原因，其一是出于我对NSC产品的偏爱。我自从喜欢上音响DIY后，接触到的第一片集成电路就是NSC生产的LM1875，之后又为自己和朋友制作了若干台与LM1875属同一家族的OVERTRUE系列集成电路功放。从LM3886、LM3875、LM4700等一路制作下来，对NSC所生产的音频集成电路的品质有了一定的信心。其二是LME49600在网上讨论得不多，我出于尝新的角度试验了一下。

放大部分的线路图是参考LME49600数据手册里的耳放典型应用线路稍作修改而成的。输入级加入了C1和R1构成的6dB/oct高通滤波部分，下限频率约为15Hz，既可以满足音乐欣赏的要求，又可以防止音源部分可能产生的冲击信号对耳机单元的损害。Ri的作用是减小第一级运放输入端的偏差电压，抑制来自音源和地线的噪声。R2和R3的取值决定了耳放的电压放大倍数。缓冲输出级加入了阻抗匹配电阻R4，用来改善耳放驱动低阻抗耳机时的性能，如果使用的是高阻抗耳机，可以取消这只电阻。C2为输出隔直流电容，确保耳机单元不受直流的冲击。其实LME49600里面已经设置了完善的保护电路，也可以取消C2。不过，如果计划把UCP2耳放兼作一台前级使用，为了功放和音箱的安全，建议最好保留C2，可以考虑把它换成高品质的无极电容。

电源是由LM7815和LM7915构成的正、负稳压电源，为LM系列稳压集成电路的典型应用，这里不再赘述。每只集成电路的输入端对地均设有一组由LED和限流电阻构成的指示电路，用于直观地查看电源的工作状态，这部分可以省略不要。

UCP2耳放的设计首要考虑的是简单、可靠和通用。我对一件DIY的作品设计是否成功的判断标准是——它被制作和讨论的空间是否足够大，这对技术的发展尤其重要。根据墨菲定律，一个东西越简单，它就越可靠，越简单，别人就越容易上手制作，被讨论的话题就越多，这件作品可修改的余地也就越大。而一个东西越通用，它的潜在舞台就越大。

现在电子装配技术的发展趋势是微型化和模块化，贴片元件被越来越多地应用到各种产品之中。随着电路板厂的门槛越来越低，DIY爱好者在家中设计好制板文件，再交给厂家小批量生产PCB也不是什么难事了。本着与时俱进的精神，我的这部UCP2

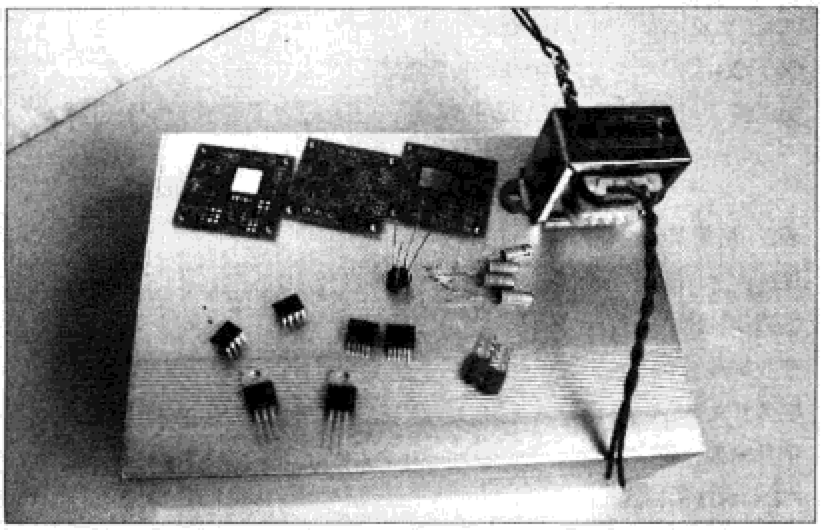


图5 准备齐主要元件，机箱为常见的厂家预制铝型材机箱

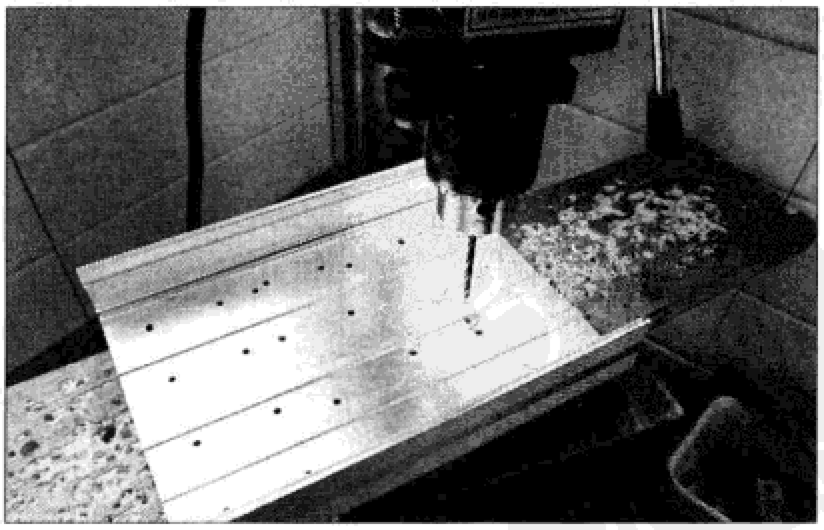


图6 上钻床，加工出机箱底盘的安装孔

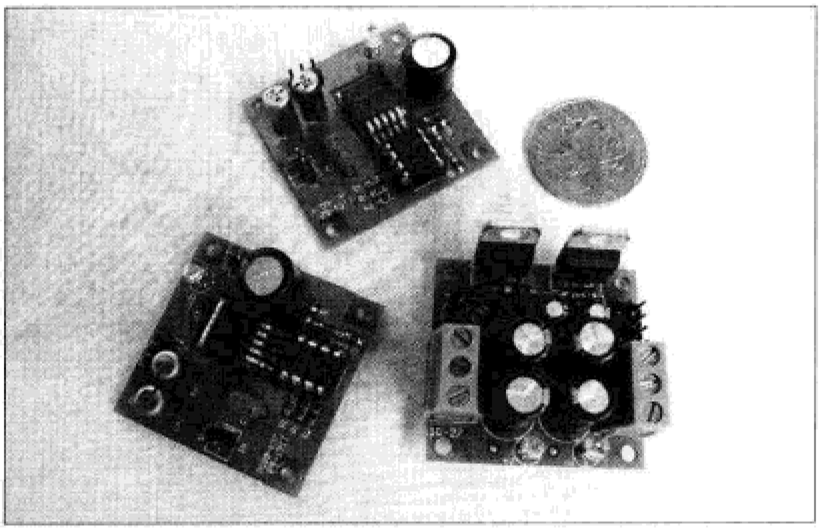


图7 焊接好的放大电路模块和电源模块。与一元硬币比较，非常迷你

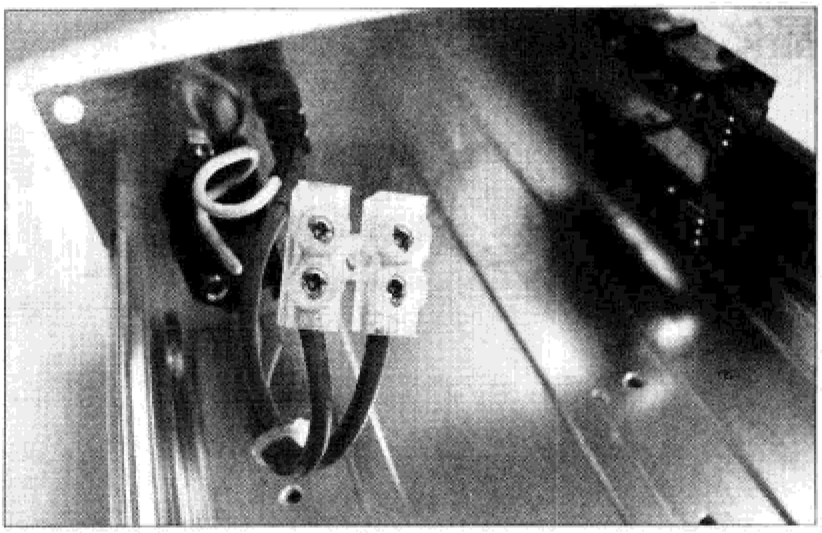


图8 机箱后板的电源和信号输入插座

耳放的电路就是采用PCB的方式制作而成的。

PCB是采用贴片元件的模块化设计，放大部分和电源部分是独立的两片PCB。从通用的角度考虑，电源和信号接口采用常见的5.08mm工业压线端子和杜邦接线端子。运放使用自建的8脚双列直插和8脚贴片兼容库，PCB上可以焊接常见的这两种封装的8脚运放。PCB设计得应该紧凑、迷你，放大板和电源板的尺寸都是39mm×39mm，电路板边沿的4个安装孔也是通用的。我计划以后再设计这类小型贴片电路板，也采用相同的规格，这样作品就形成了一个系列。因为每个模块都很小，且功能独立，除了用来制作耳放，还可以很方便地安装到其他音响器材里，做摩机用。

图3是放大电路模块的PCB布局图，放大电路模块采用单声道设计。电源进线端和信号输入、输出接口都是杜邦端子。贴片电阻R4和R3用来决定电路的工作模式，是运放单独作为一级电压放大工作，还是与缓冲器协同工作。

图4所示是电源模块的PCB布局图。电源板的交流输入端和直流输出端都是5.08mm的工业压线端子。直流输出端还额外设置了4组杜邦接线端子，方便与放大板的连接。

模块与模块之间的连接，只需要一把剥线钳、一只螺丝刀就可以完成。之所以选择杜邦端子，也是出于通用性的考虑，因为我做单片机类的制作也需要用到大量的杜邦导线，而且杜邦端子的电气连接特性非常之好。

UCP2制作过程如图5至图8所示。这部UCP2耳放的输入和输出插座均为6.5mm立体声插头，这是因为我的音源是一台GW8合成器和一只MP3。我平时喜欢自己操刀，用合成器来演绎一些经典曲目，还喜欢听一些网上比较时新的音乐。这样一来，使用一根3.5mm转6.5mm立体声信号线，再配个3.5mm转6.5mm插头，就可以很方便地连接这几件设备了。

装配完毕的UCP2耳放内部照片如图10所示，与它合影的是UCP2的前身，测试版UCP1耳放。图中左侧为UCP1，右侧为UCP2。测试版UCP1耳放的PCB为双通道设计，每通道由一片双运放连接成的一级电压放大与一级缓冲组成。制作UCP1的时候，因为电源PCB还没有设计出来，它的电源部分是使用一片5cm ×7cm的洞洞板制作而成的。

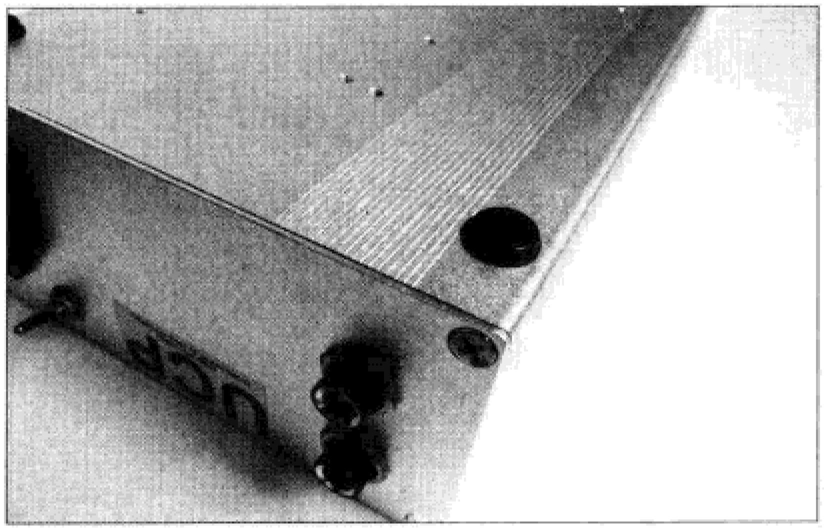


图9 UCP2耳放的输入和输出插座

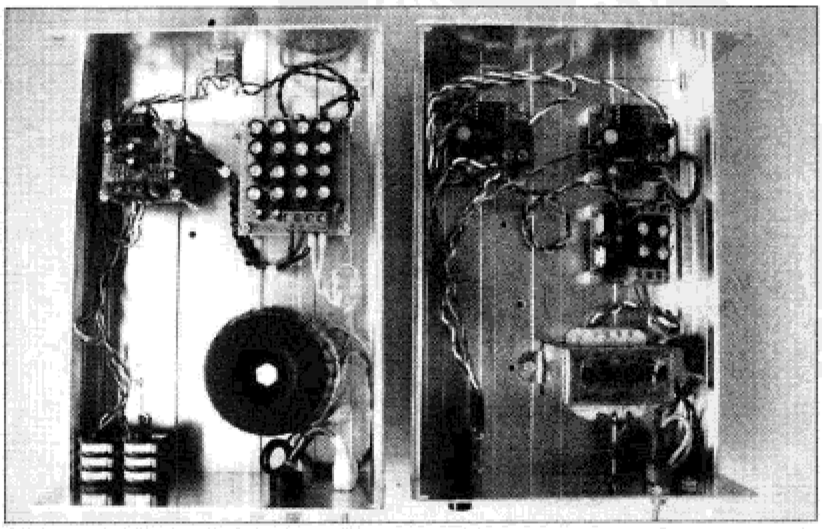
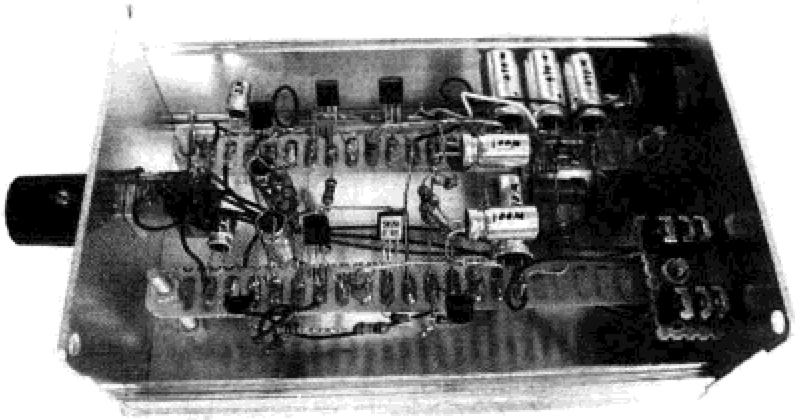


图10 UCP2耳放（右）内部照片，左边为UCP1耳放

晶体管耳放制作方案

8管OTL耳放



◎臧海波

我制作这台分立元件晶体管电路耳放的源动力，是出于一次偶然的机会，在朋友家听到他在很久以前自制的2×5W小功放推出的声音。功率虽然不大，音质却别有一番滋味，听起来非常舒服。后来在聊天中得知，该功放采用的是晶体管诞生早期的经典结构：准互补乙类单端推挽，简称OTL，而输出管使用的则是老发烧友一定不会感到陌生的3DD15。

事后回到家，我一直琢磨这台功放的声音。笔者曾经制作过各种各样采用新器件、新技术、高成本的功率放大器，试验过各种类型的五花八门的线路，这次却被这么一部毫不起眼的“老古董”给感染了。我就突发奇想，用经典的OTL电路制作一部晶体管小耳放，看看结果会怎么样。

这部8管OTL耳放的电路如图1所示。这个电路结构常见于晶体管电路的教科书，我把它加以简化，调整了个别元件的参数，使其可以工作在耳放模式下。

为了稳定输出中点电压，VT1采用PNP型晶体管，以便把它的发射极电阻R5接往耳放的输出中点，形成较强的直流负反馈。交流信号通过R5与R2的分压，从输出端反馈到VT1的发射极，C2对交流信号等于短路。反馈的结果，使电路的频响、失真及稳定性都得到了改善。电路的电压增益基本上取决于R5与R2的

附表

编号	规格	数量
VT1	通用PNP型小功率晶体管	2
VT2	通用NPN型小功率晶体管	2
VT3	通用NPN型小功率晶体管	2
VT4	通用PNP型小功率晶体管	2
C1	4.7μF 薄膜电容	2
C2、C3	100μF/16V电解电容	4
C4	470μF/16V电解电容	2
VD1、VD2	1N4148	4
R1	2kΩ	2
R2	300Ω	2
R3	56kΩ	2
R4	15kΩ	2
R5	3kΩ	2
R6	100Ω	2
R7	390Ω	2
R8、R9	1Ω/0.5W	4
音量	47kΩ双联带开关电位器、配旋钮	1
插座	3.5mm音频输入、输出插座	2
机箱	铝型材机箱	1
其他	M3螺丝、螺母，洞洞板、导线等	适量
电源	6V/800mA外接电源，配DC插座	1

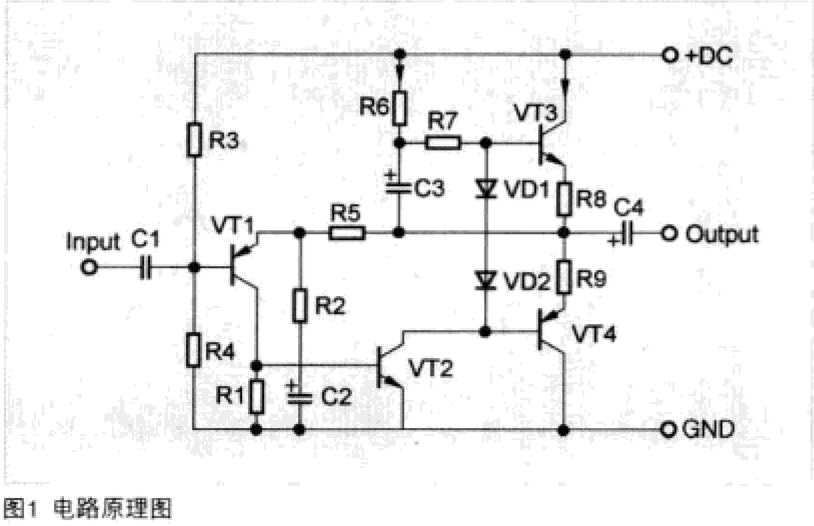


图1 电路原理图

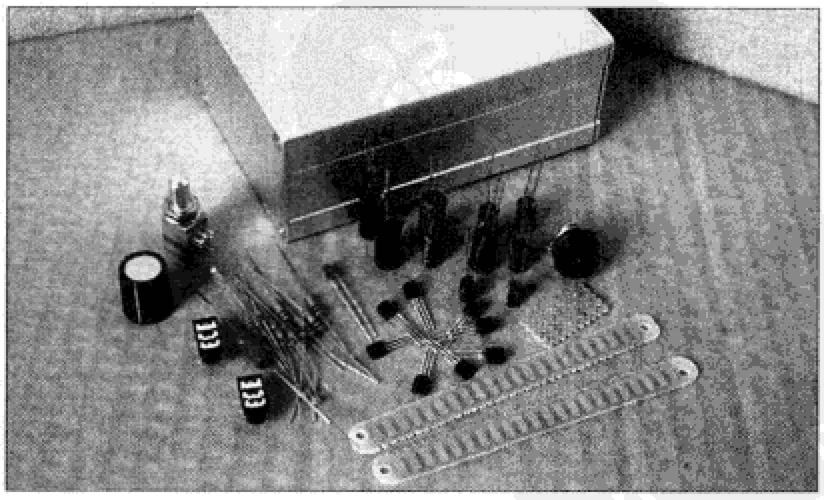


图2 备齐主要的原材料

比值。

R1是VT1的集电极电阻，同时也是VT2的偏置电阻。输入信号经过VT1、VT2两级放大后，直接送到VT3和VT4的基极。VT3和VT4之间加入了二极管VD1和VD2组成的偏置电路，用来克服交越失真。VT2的集电极电流在VD1、VD2上产生的电压降便是VT3和VT4的基极偏压。

R7是VT2的集电极负载电阻，R6和C3组成自举电路，用以提高电路的开环增益和输出幅度。

制作8管OTL耳放所需的元器件如附表所示。这部耳放使用普通元件制作。晶体管使用常见的9012、9014、8050、8550。电阻使用国产铜脚金属膜电阻，除了R8、R9以外，均为1/4W。电容使用的是做单片机实验剩下的一些普通品电解电容。音量电位器选用品质稍好的ALPS RK097型带开关双联电位器。

可以说，在原材料的准备上没有过多的花哨，我把更多的心思用在了提高制作工艺上。该耳放采用“石机胆做”的方式，使用两块洞洞板的边角料作为棚架，搭棚焊接而成。这也是一件向老一辈无线电爱好者致敬的DIY作品！

图2～图8为制作过程中拍的一组照片。

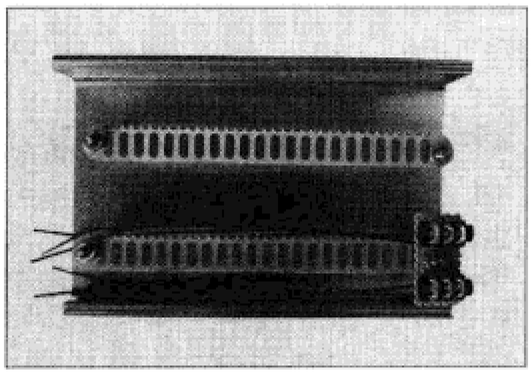


图3 加工好的铝合金底盘，固定好“棚架”和输入/输出插座

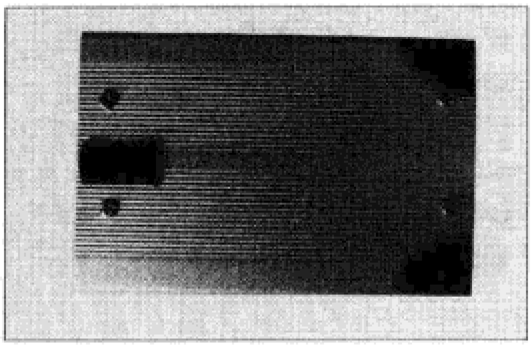


图4 底盘的背面，脚垫使用超市里常见的垫家具腿的自粘脚垫剪切而成

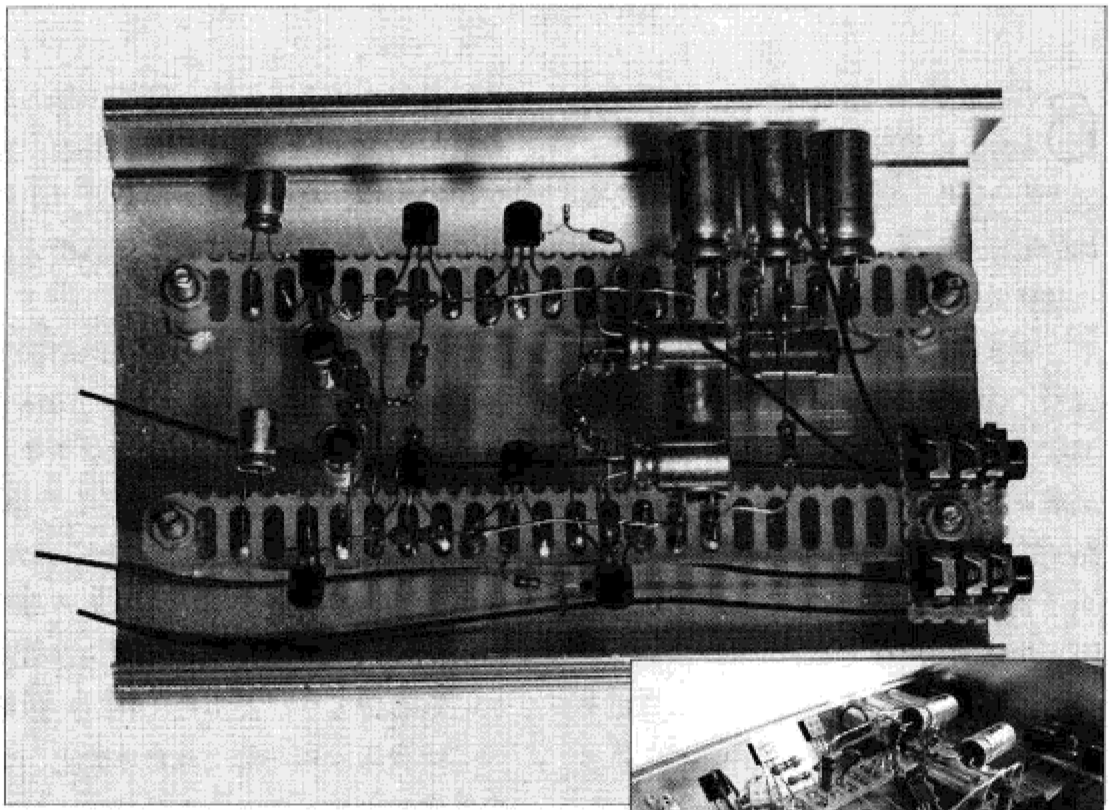


图5 焊接好大部分元件的样子。电解电容均剥去塑料外皮，追求一种观感上的复古之美

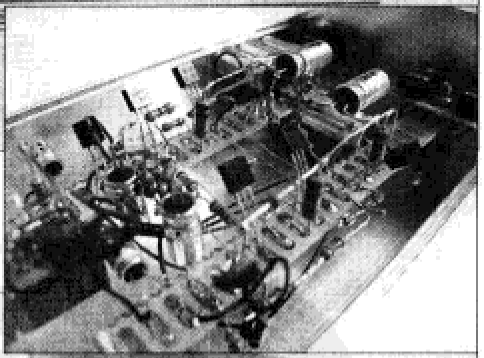


图6 搭棚焊接的细节

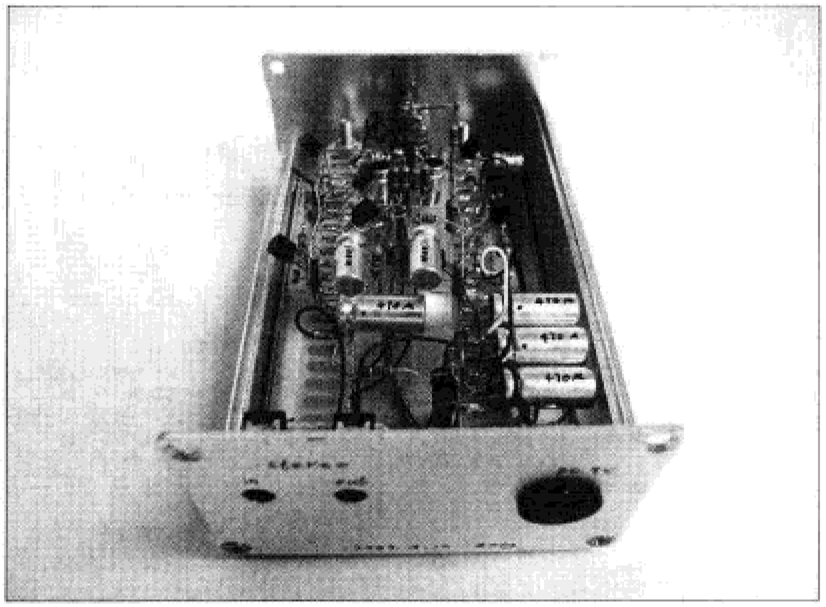


图7 耳放背板。背板和电容上面的字符是用记号笔写上去的，黑字白底，稍加点缀，进一步增加观感

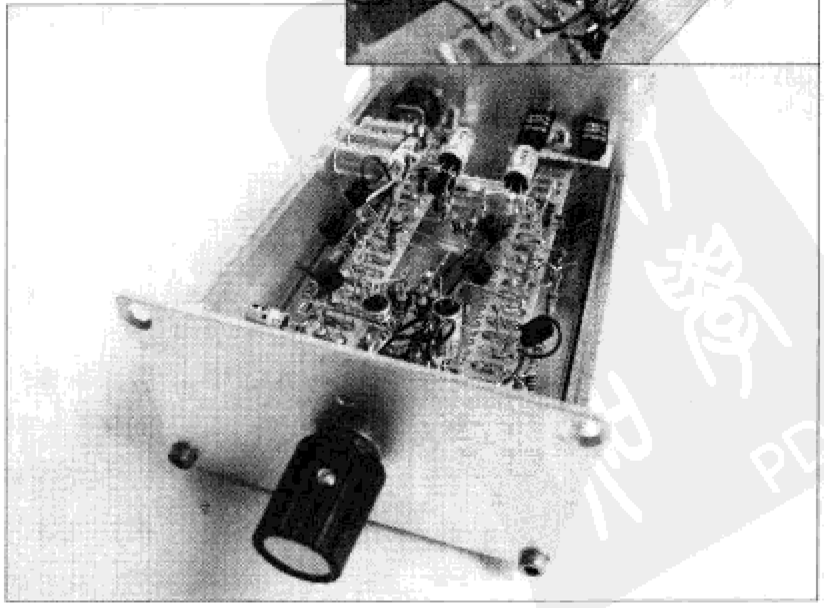
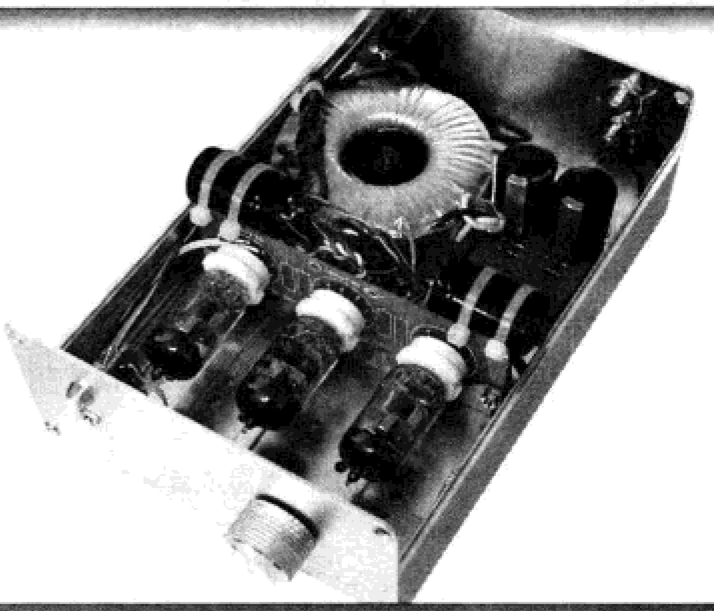


图8 耳放前面板，音量旋钮兼电源开关



电子管耳放制作方案

6N1耳放

◎臧海波

6N1耳放是一款电子管耳放。这款耳放结构比较简单，使用了3只同型号的6N1电子管作为放大器件，不需要价格高昂的输出变压器，非常适合业余制作。这也是我做的第一部电子管耳放。

许多DIY爱好者对电子管电路有一种错觉，认为它们制作起点高，难以下手。其实不然，如果按照电路的制作难度从易到难来排列，我认为应该是这样：集成电路>电子管=晶体管。而从稳定性考虑，电子管的优势就更明显了，从优到劣排列：电子管>集成电路=晶体管。记得曾经看过一篇军事文章，介绍前苏联飞机不怕核爆产生的电磁脉冲，使美国军方百思不得其解。事后才知道，它们的航电设备使用的是电子管。

电子管电路具有以下几项优点：

1. 电子管线性特性良好，工作电压高，输出幅度大，不易产生削波失真。

2. 电子管工作稳定。由于电子管灯丝是在加热状态下工作，管芯工作温度通常在400℃以上，不易受外界环境温度变化的影响。晶体管线路中需要考虑的恒流、稳压、保护这些技术措施都可以不要。

3. 电子管电路可靠性高。虽然单个器件比较起来，电子管并无优势，晶体管可以达到半永久的寿命，但是晶体管电路比电子管电路要复杂得多，增加了故障率。此外，阻容元件的寿命也是一个制约因素，而电子管电路采用的高电压、大功率器件在生产环节的品质管理上相对更为严格。

笔者曾经在广播电台工作过一段时间，给我印象较深的是几台冰柜大小的电子管开盘机。听一位老师傅说，自打1982年建台，这几部机器就天天用来做节目，后来台里上了数字音频工作站，仍然把它们作为辅助播出设备，上线备用，时至今日都没怎么维修过。

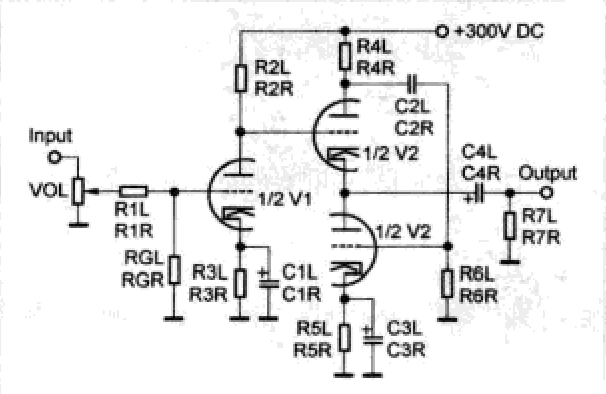


图1 6N1耳放电路（1个声道）

现在言归正传，给大家介绍一下我制作的这部6N1耳放。图1是6N1耳放的放大部分线路图。制作放大电路部分所需的元件如表1所示。

由图1可见，该耳放采用的是一级共阴放大加WCF输出的结构，级间采用直耦的方式，没有负反馈。WCF是一种由电子管构成的OTL型推挽电路。WCF电路的特点是输出阻抗低，动态范围大，比电子管阴极跟随器有更加优异的性能，非常

表1 放大电路元器件

编号	规格	数量
VT1、VT2	6N1电子管配座	3
R1	100Ω	2
RG、R6	1MΩ/0.5W	4
R2	43kΩ 2W	2
R3	750Ω/0.5W	2
R4	200Ω/0.5W	2
R5	220Ω/0.5W	2
R7	22kΩ/ 0.5W	2
C1	1000μF/16V	2
C2	0.47μF/630V	2
C3	2200μF/16V	2
C4	470F/450V	2
音量电位器	ALPS 47kΩ双联	1

表2 电源电路元器件

编号	规格	数量
VD1、VD2、VD3、VD4	1N4007	4
C1、C2	100μF/450V	2
R1	2.2kΩ/3W	1
B1	电子管电源变压器	1
SB	电源开关	1

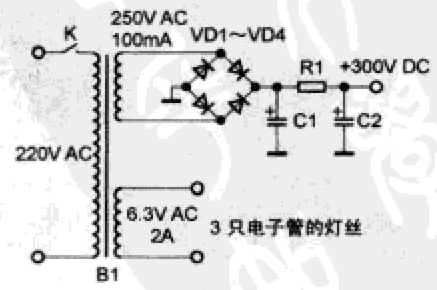


图2 6N1耳放电源电路

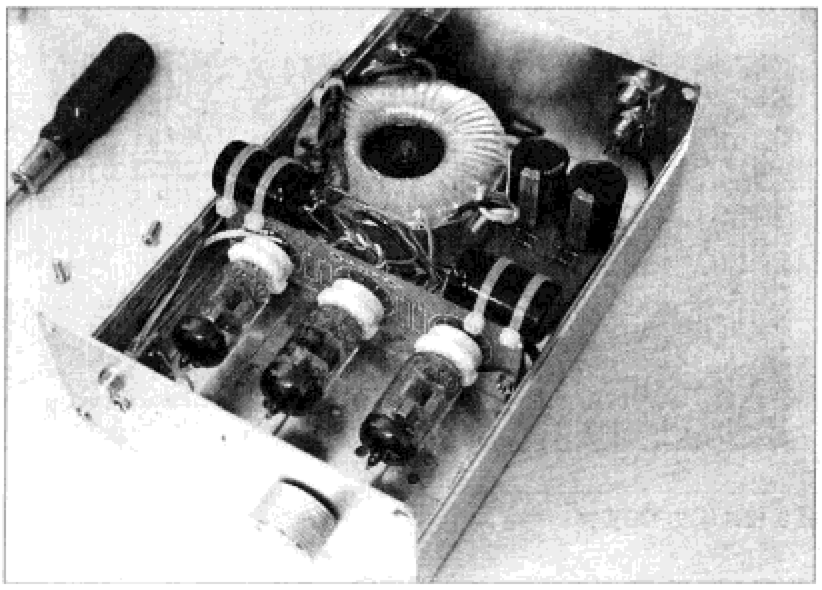


图3 前面板及内部各部件的安放位置

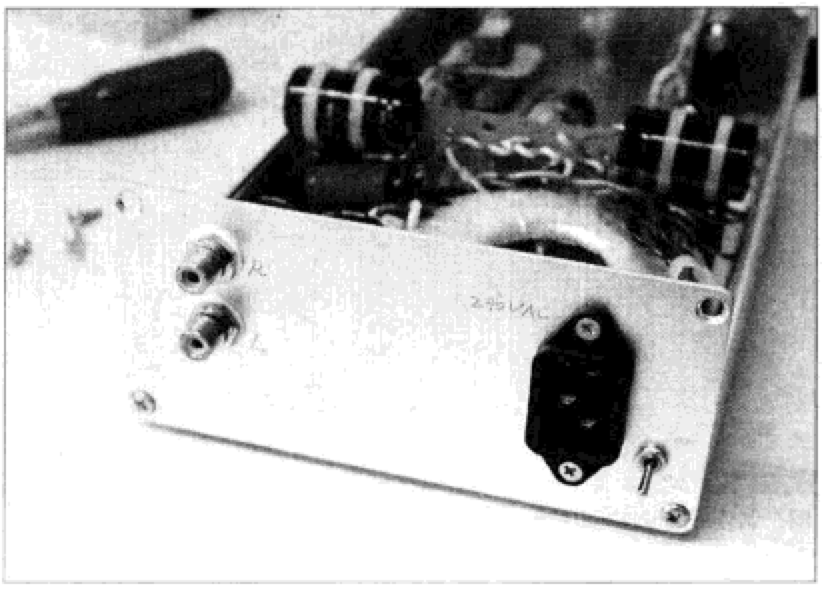


图5 后面板上的电源和输出接口

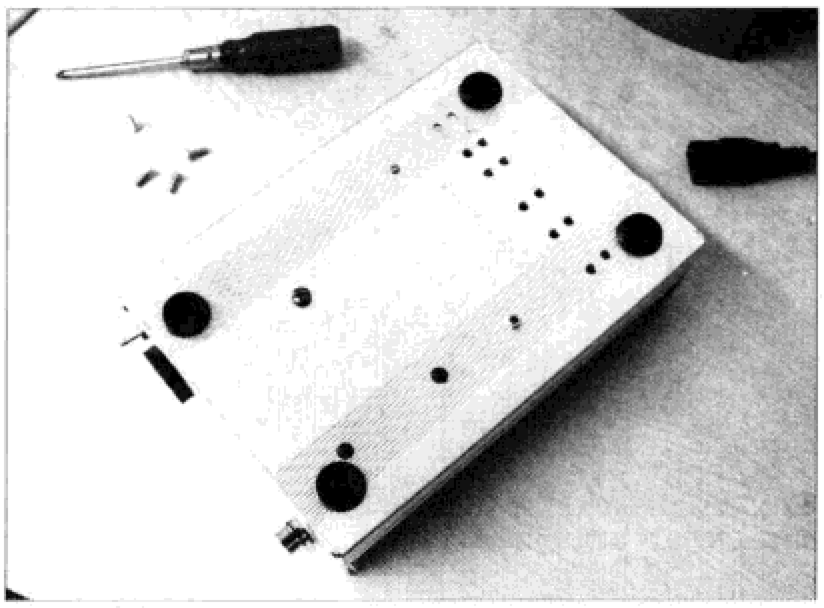


图4 耳放外壳底部开孔

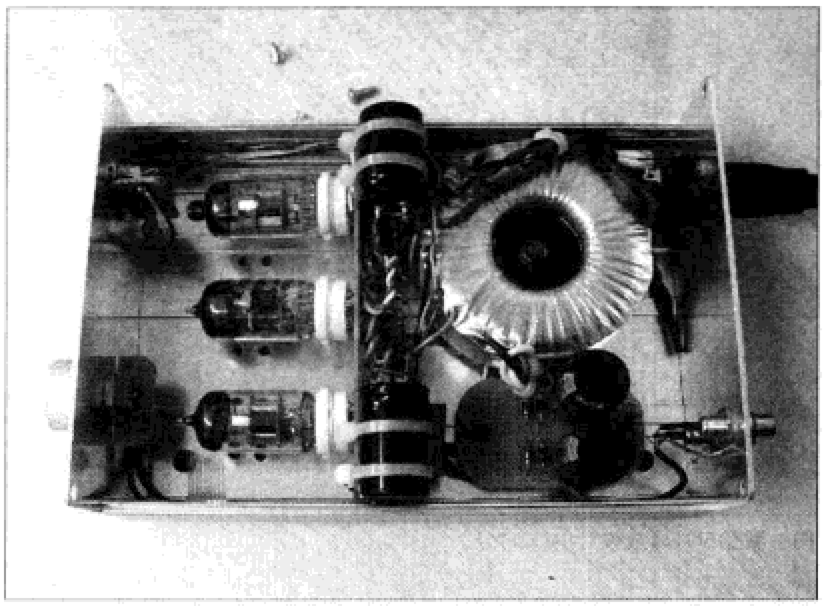


图6 采用搭棚方式制作完成的6N1耳放实物电路

适合驱动低阻抗耳机。这种结构的耳放在网上讨论的非常多，也有很多DIY爱好者制作成功的心得。著名的商业耳放EARMAX也是采用了这种电路形式。这个制作中的电子管采用的是国产6N1，因为该型号电子管产量大，库存充足，非常容易买到。

电子管耳放工作在高电压、小电流的方式下，对元件的品质有一定要求。我在制作的时候，3只6N1电子管均采用北京产的J级品，并多买了几只作为备用。R2使用DALE的功率电阻，其他电阻均为1/2W国产铜脚金属膜电阻。C1和C3的要求不高，为降低成本，使用的是计算机主板级的电解电容。C2对声音有较大影响，且工作电压较高，需要使用高耐压的薄膜电容，我使用的是绿色ERO聚丙烯电容。输出电解电容使用的是ELNA的普及型高压电解电容，两端并联一只1μF/630V的红wima，增加高音的通透感。音量电位器使用的是小型ALPS，47kΩ双联。

6N1耳放的电源部分较简单（元件列表见表2，电路见图2）。高压部分为全波整流、CRC滤波的形式。整流管可以使用常见的1N4007，两只电解电容使用普通品即可。要注意的是，点亮3只6N1的灯丝大概需要2A电流，配套电源变压器的功率要能够保证，我使用的是专门为电子管电源制作的30W环形变压器。

电子管耳放的元件布局和制作工艺与电子管功放相同，可以把它当作一部小胆机来制作，制作细节见图3～图6。因为耳机是贴耳聆听的器材，对耳放的底噪有较高要求。制作小型电子管电路，我比较倾向于采用交流灯丝的方式。第一是为了电子管的寿命考虑，第二也为了检验布局走线是否合理，第三是听感好。这部6N1耳放在制作完成后，用高灵敏度的MDR-V6低阻耳机试听，可听到轻微的

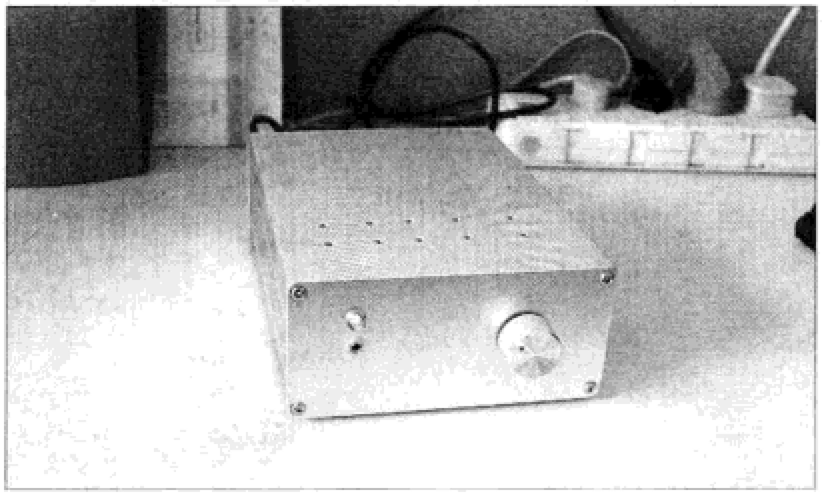


图7 制作好的6N1耳放的外形

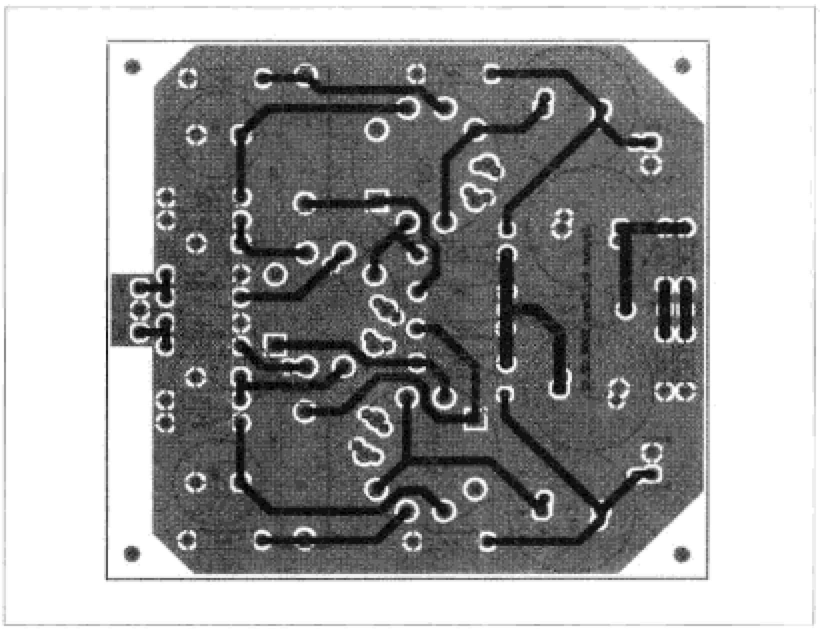


图8 我给6N1耳放设计的PCB图

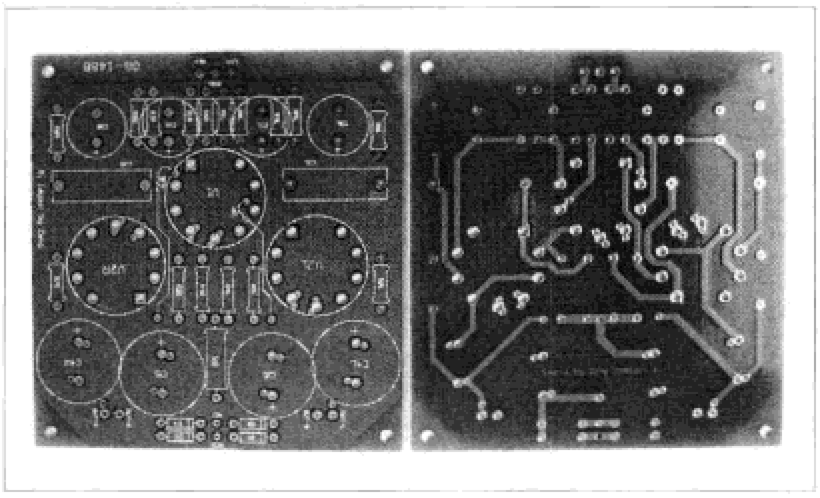


图9 6N1耳放PCB实物

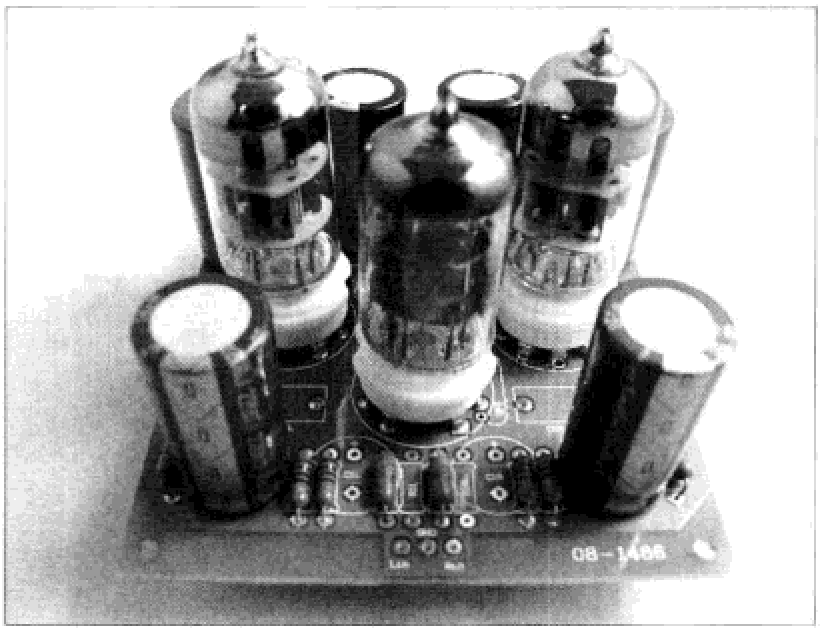


图10 在PCB上焊好的6N1电路实物

因为电子管耳放的工作电压较高，从安全的角度考虑，有以下几个需要注意的地方：

1. 没有接触过电子管电路的DIY爱好者最好在有一定经验的专家指导下进行制作。

2. 电子管在工作时玻璃管壳很热，建议把耳放做成胆内藏式，不把电子管暴露在机箱外，并在机箱上开适当数量的对流孔，以利散热。

3. 大电解电容在安装时，它们的防爆膜（通常在电容顶部）与周围元件需要留出一定空间，并一定注意电容的极性不要弄错。可以在电源部分的两只电容C1、C2上分别并联一只33kΩ/5W的电阻，用于在电路断电后迅速释放掉电容上的电荷。

4. 给耳放通电前，需要反复检查电路是否有焊接错误，起码检查两遍。在调试时，先不插3只6N1电子管，开机并测量管座上的灯丝电压和高压是否正常，然后插上电子管再测量一次。机器预热一段时间以后，检查耳放输出对地是否存在直流、各部分元件是否有过热、冒烟等异常现象。如果都正常，才可以插上耳机试听了。

5. 为了保护耳机不受冲击，建议每次关机前，先拔下耳机再断电，每次开机后，等耳放预热一段时间以后再插耳机。

"嗡嗡"声，后来把灯丝线圈单端接地，就听不到一点底噪了。

此外，我还有一个百试不爽的降噪绝招：在电子管放大器的信号输入端做一点接地，电源地线、输出地和音量电位器的冷端地，都分别用导线接到输入端的接地点；机内信号线的屏蔽层单侧接地，即在信号输入端把信号线的屏蔽层接地，信号线至音量电位器那端的屏蔽层悬空。

与UCP2耳放相似，我采用搭棚方式制作完成后，也给这个6N1耳放设计和制作了一版PCB。这是一个"ALL IN ONE"的PCB，包含了两个声道的放大和电源。元件布局依然遵循紧凑、迷你的原则。图8～图10是6N1耳放的PCB图以及制作出的实物。

我的试听器材与环境

制作效果总结

我用的试听器材是一台 ROLAND GW8 合成器和一只 MP3，耳机为 Sennheiser 的 HD495、HD580 各一只，一只 SONY 的 MDR-V6，线材为国产华真双芯平衡信号线，配甬声立体声插头。

这三款耳放中，以UCP2耳放的性能最为均衡，这得益于专门为音频应用而设计制造的集成电路。集成电路芯片是厂家生产的一种准商品级原材料，与DIY爱好者自制的电路相比，其产品一致性更好，电气指标较容易保证。UCP2的缺点是，听时间久了，会感觉某些频段的声音比较生硬，缺乏乐感。这也是集成电路耳放的通病。通常解决的办法是，加入适当的频率补偿电路，或者采用混合电路的模式，如电子管+集成电路的方式，来调节音色。

8管OTL耳放的表现有点超乎意料的好，线路和造价又使这部耳放充满了戏剧性。首先，它的血统极其平凡，造价又比较低，电路部分的元件加在一起，满打满算，都抵不上一片缓冲器的价格。它的音色是典型的晶体管放大器的声音，中频段充满磁性，柔和耐听。我认为，如果选用音频级别的晶体管，再加上精心调教工作点，这部耳放的声音还有很大的提升空间。它的缺点是高、低音表现较差，我用合成器弹奏《终结者2》片头曲里的电子音乐，8管OTL不能很好地再现低音大鼓扑面而来的气势，而UCP2则可以营造出音乐所要表现的那种压迫感。

6N1耳放的声音是最优美的，只是低音略显不足。用它来聆听ROLAND合成器所弹奏出的钢琴音色，透明度和空间结像力都超好，由此可以推断，6N1耳放对真钢琴录音的表现也不会差。此外，这部耳放对节奏舒缓的弦乐、小编制的人声回放都很传神，而且配合着电子管灯丝所发出的柔和光线，很容易把听众带入到这类音乐的氛围之中。

◎樊翔

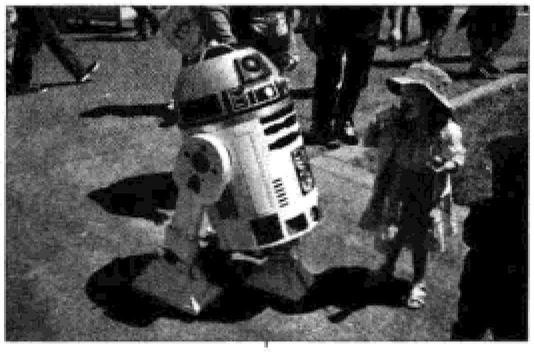
亲历美国2011湾区Maker Faire
——全球最大的DIY盛会

Maker Faire是由美国《Make》杂志发起的DIY爱好者聚会，每年会在美国加州湾区、底特律以及纽约分别举行。第一届Maker Faire于2006年在加州San Mateo Fairgrounds举办，这项活动自诞生以来，到今年已经有6个年头了，每年都会吸引成倍的DIY爱好者关注和加入。不同于其他的专业性展会，Maker Faire的包容性非常强，DIY作品、手工艺品、音乐、科技……一切你能想到或想不到的东西，都会在这个“无与伦比”的欢乐聚会上被发现。2011的湾区Maker Faire在5月21日、22日这两天举行，据说有超过10万的不同类型作品被带到了这场聚会中。

亲历美国2011湾区Maker Faire

这次，我非常幸运地有机会和公司同事一起来到美国加州，作为赞助商之一参与了在湾区举办的2011 Maker Faire。虽然之前也经常在互联网上看到一些Maker Faire中出现的作品，但当你置身于这场盛会中，用双眼亲自去感受时，你会从内心深处产生一种去亲手创造的强烈冲动。

在Maker Faire现场出现的作品千奇百怪，下面就让我们去一探究竟。

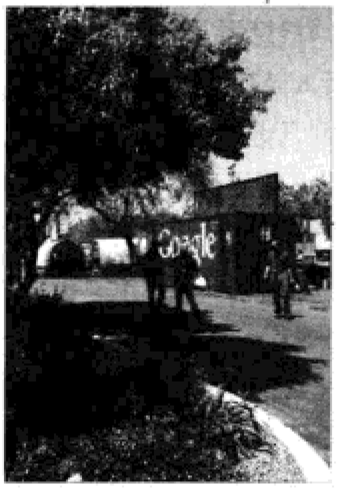


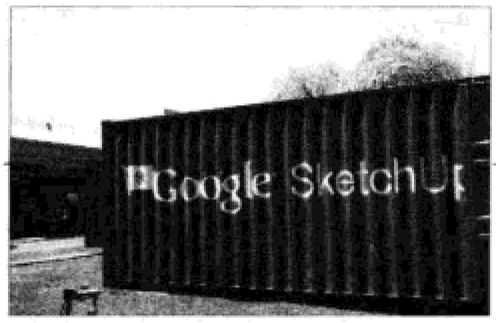
Maker Faire展会的路上迎面走来一个“R2D2”（电影《星球大战》系列中的那个可爱的机器人角色），惊呆了这位可爱的小朋友

微软第一人称射击游戏《HALO》的Cosplay引来众人围观

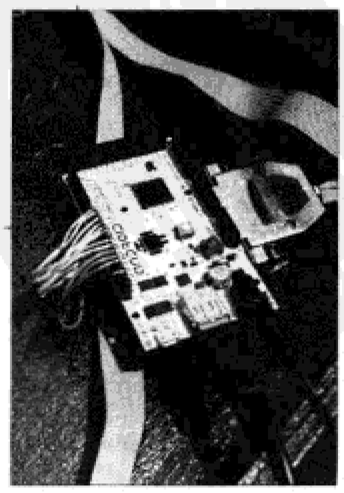
现场的乐队表演，实力秒杀国内“快乐XX”的业余歌手

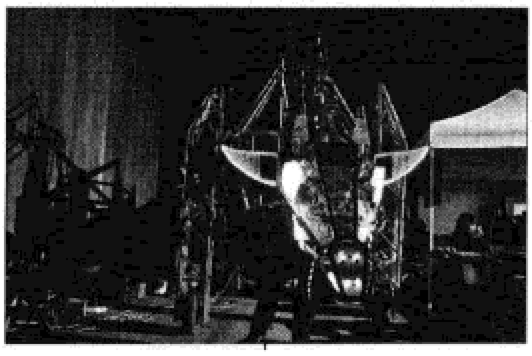
手工打造的摩托车，不知道在国内可不可以上路行驶？

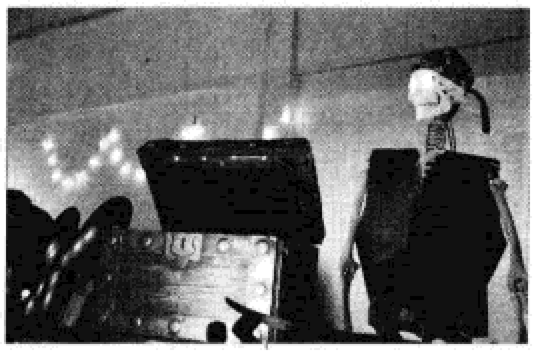


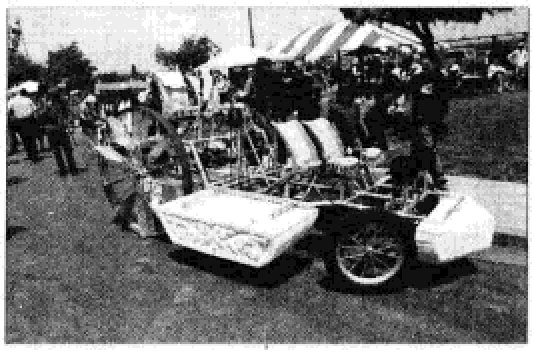


谷歌（Google）也加入到了Maker Faire中。这次，它们搬来了两节集装箱当作展厅，主要展出了其刚刚发布的Android Development Kit 以及旗下的Sketch Up软件









以LED元素为主题的机械长颈鹿，非常绚丽。国外友人对于LED可谓是情有独钟，像这类作品通常会引来众多参观者驻足

这样怪异的交通工具也大量出现在活动现场，其核心还是——手工打造

看到这样的人，我的第一感觉是——穿越了。在Maker Faire中，DIY的奇异服装也成为了一道靓丽的风景线

小朋友在玩弄LED按钮做成的俄罗斯方块机

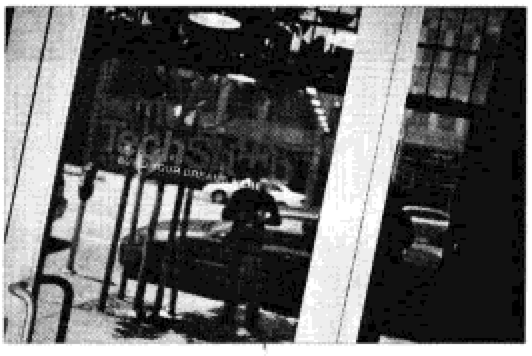
以上给大家展示的Maker Faire现场只是沧海一粟。 有兴趣的朋友还可以到互联网上再搜索一下，相信会有更多的惊喜。

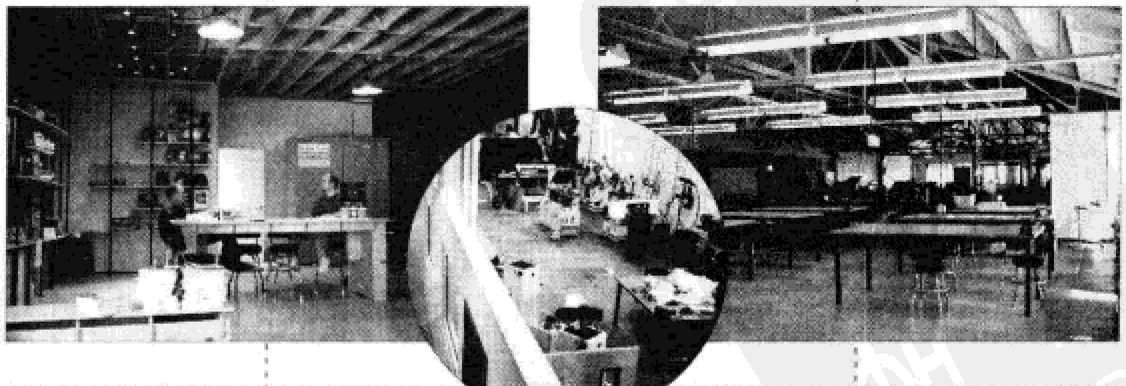
Hacker Space之旅

两天的Maker Faire活动结束后，我们一行人来到旧金山，参观了Techshop、Noise Bridge 等当地著名的Hacker Space（极客空间）。

1. Techshop

我们的第一站是位于旧金山Howard街926号的Techshop 。Techshop并不同于普通的Hacker Space，这里有媲美任何大公司的办公场所、顶尖的制造设备以及专业的技术人员。与其说这里是Hacker Space，倒不如把它看成是一个资源共享的高科技工坊。你可以利用这里的一切资源，将你的想法变成真正的产品。如果你不知道如何操作这些设备，Techshop还为你准备了一系列的专业课程，服务非常到位，当然，收费也非常昂贵（一年的会员费高达1200美元，而每小时的课程费用则是95美元）。





Techshop宽敞的办公环境

2. Noise Bridge

Noise Bridge位于旧金山Mission街2169号，这里的风格和Techshop完全不同。如果说Techshop还会让我们有一些拘束感的话（感觉太专业了），那么Noise Bridge就是一个可以让业余爱好者完全放松的地方。

在这个大约300平米的房间里，杂乱地堆放着各种废弃电子产品、各种开发中的项目，甚至还设有一个厨房。 会员们在这个充满着自由气氛的场所里聊天、做项目、阅读、玩TV-game、吃饭。这里就像一个CLUB，任何人都可以加入进来，同来自旧金山各个角落的DIY爱好者们一起打发自己的业余时间。

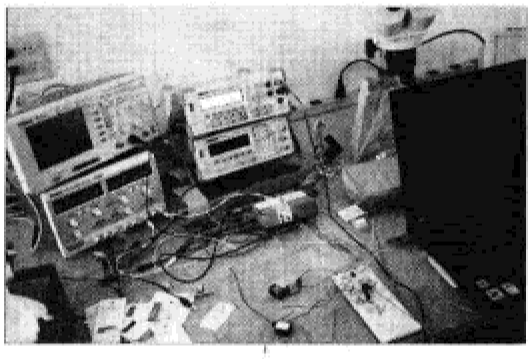
离开Noise Bridge的时候，我们惊讶地发现，这里的大门上居然赫然写着：长江制衣厂。Mitch Altman对我们说，这里曾经是一个华人开办的制衣厂，现在Noise Bridge甚至还有当时留下的缝纫设备，物尽其用，于是缝纫课也成为了Noise Bridge 的一部分。

全民创造

几天的美国之旅，让我深切体会到了中美文化的差异，也让我明白了为什么美国可以有苹果（Apple）、谷歌（Google）这样充满创意的公司，而中国却只能去模仿。这和我们从小身处的环境是分不开的，要想有不断创新的意识和能力，是离不开一个鼓励实践、尊重创意的社会环境和教育体制的。

我们期待，国内在不久的将来，也可以有像Techshop 、Noise Bridge这样可供人们自由发挥想象力的空间，也有像Maker Faire这样可以展示人们创造力的大舞台，更有越来越多的制作爱好者从创新、创意走向创造。只有这样，中国的企业才可能从简单的模仿，转变成为拥有独特创意的国际化大公司。

Techshop里忙碌的专业人员



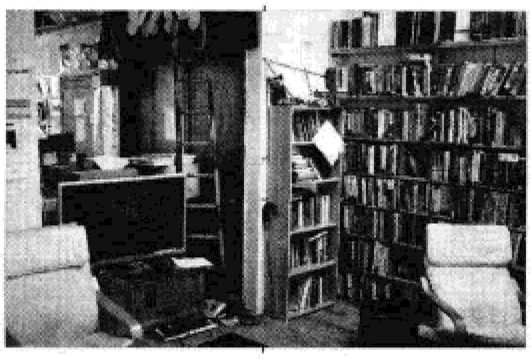
Techshop里配置精良的各种设备

门口的二维识别条码，二维码里面包含了Noise Bridge的网址，用手机扫描可以直达网站首页

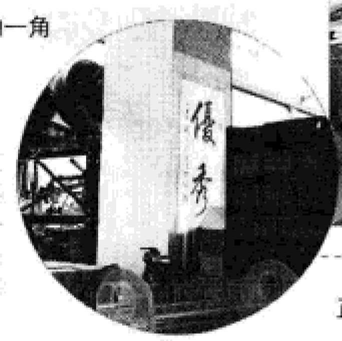
右边这位留着怪异发型的就是Noise Bridge的创始人Mitch Altman(米奇.奥特曼)， 果然名如其人

堆满“杂物”的工作空间，是不是让业余爱好者很有亲切感？

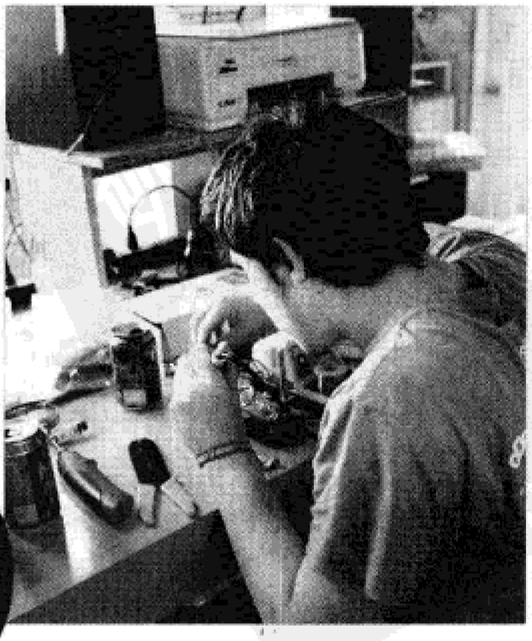
散落在桌上的有Mitch Altman的那个号称可以遥控任何电视机的套件TV-B-Gone



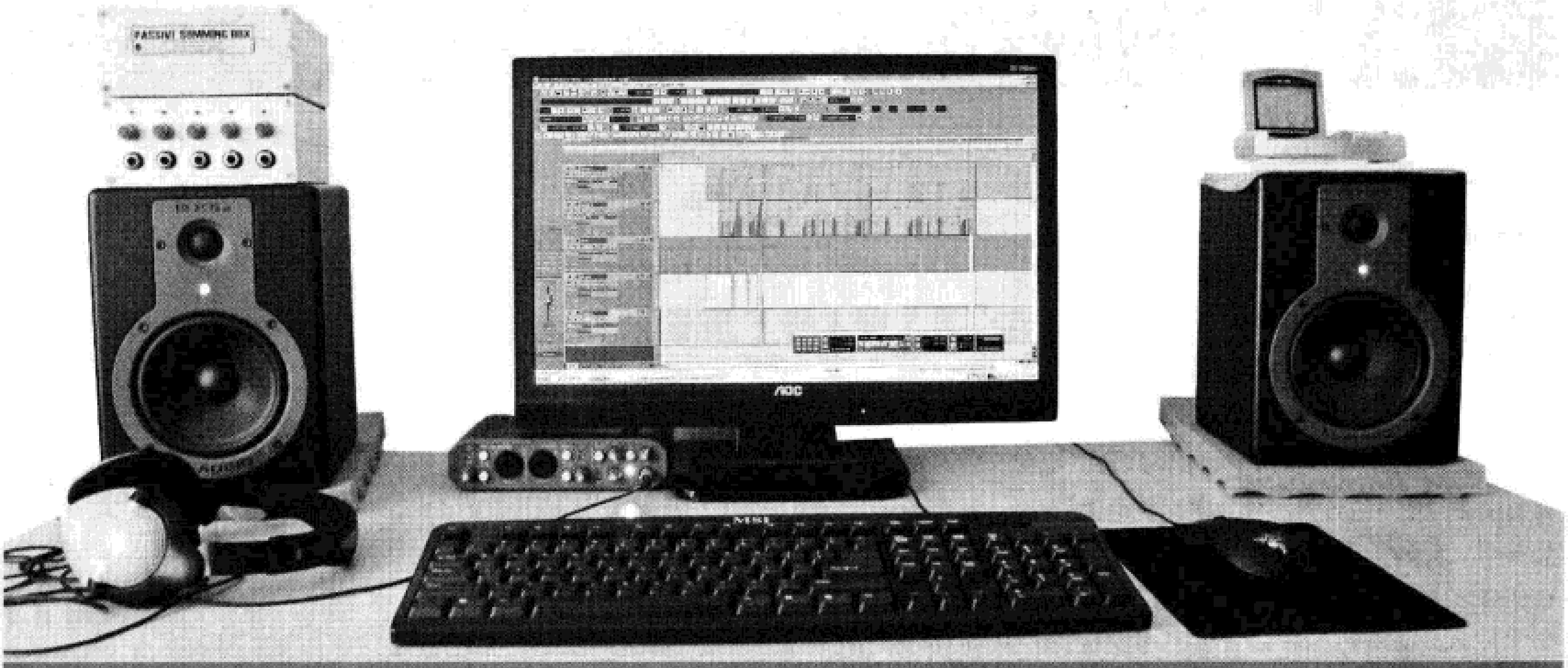
用于阅读和玩TV-game的一角



Noise Bridge工作室立柱上挂着的是从故宫买回的一副中国书法——“优秀”——看来这也是Mitch Altman做这个工坊要达到的目标



正在专注焊接的DIY爱好者



搭建个人数字音频工作室

◎臧海波

录音是将声音信号记录在媒质上的过程。将媒质上记录的信号重放出声音来的过程称为放音。音响发烧友实现的是放音的过程，通过对音源、功放、信号线、音箱等器材以及听音室的搭配，力求获得最完美的回放效果。而录音实现的是信号的记录过程，涉及到更广泛的学科，从乐理知识、拾音技巧、声学、电学、硬件、软件几乎无所不包。很多音响发烧友也不再满足于欣赏成品唱片，而是亲自操刀，体验从编曲、配器，再到后期制作的一系列创作过程，生产出自己的音乐作品。

录音作为一门艺术性和专业性都很强的工作，在自由音乐人和音响发烧友眼中，往往需要专业的环境、专业的设备，还需要具备丰富的专业技术知识才能做好。录音师这个职业也总是与专业高度挂钩。随着电脑的普及和音频外设性能的提高，往常需要在调音台和多轨录音机等设备上进行的录音工作，其实都可以转移到电脑里，通过音乐编辑软件来完成。这极大地降低了录音的“门槛”，使音乐爱好者可以在家中搭建属于自己的音频工作室，享受数字录音技术带来的乐趣。

我们通常所说的录音棚分为控制室和录音室两间：控制室里面放置录音设备和监听设备，由录音师进行操控；录音室里放置话筒和耳机，话筒用来录制歌手演唱或乐器演奏，耳机用来给歌手听伴奏。两间房间通过隔音墙间隔，墙上安装一扇密封的玻璃窗，以便录音师和歌手之间交流。墙上还需要安装一个传声盒，从录音间出来的各种线缆经过传声盒过墙，再接到控制室的录音设备上。家庭录音需要解决的最大问题是录音室的装修，需要在居室里划出一块空间专门做录音室使用，还需要对它进行隔音及声学装修，对家居环境的改造会比较大，这也是令众多自由音乐人头痛的问题。

搭建一个音频工作室需要从系统工程的角度来考虑问题，可以让我们学习到很多新知识。根据我从事录音工作的体会，工作室设备的特点和设备之间的连接关系往往会直接影响到作业流程是否顺畅。所以搭建工作室，首先要考虑的问题是根据作业流程来设计一个合理的系统架构，然后再决定核心设备的规格，最后才是设备选型、采购和具体实施。

工作室的搭建不必一步到位，可以先用音频接口和电脑建立一个最小化的数字音频系统，再在它的基础上做加法，逐步添置需要的设备。作为DIY爱好者，还可以发挥自己的优势，自制一些周边设备来扩充系统，弥补不足。

看看我的音频工作室

我的工作室以编曲和混音为主，兼顾录音乐、影视同期声、拍写真、做访谈等音视频相结合的工作，偏重于后期制作。这就简化了录音的环节，不用建设专门的录音室了，而是把主要投入用在了编曲和监听设备上。此外，我还按照工作室设备的接口特点，自行设计和制作了几件辅助设备，使系统连接和作业流程变得更加有序。本文中，我就为大家介绍一下我是如何搭建自己的音频工作室的。

按照作业流程，我把工作室分为两个部分，一部分是混音工作室，用来做MIDI编曲及分轨素材的缩混，这个工作室占用了一间8m²的书房，也兼作家庭影院、Hi-Fi等娱乐使用。另一部分是录音工作站，配置非常简单，做一些辅助性质的音视频采集，占用一个小桌子。下面就分别介绍它们各自的配置。

1. 混音工作室

图1是混音工作室的系统连接图，核心设备是由PC电脑和M-AUDIO

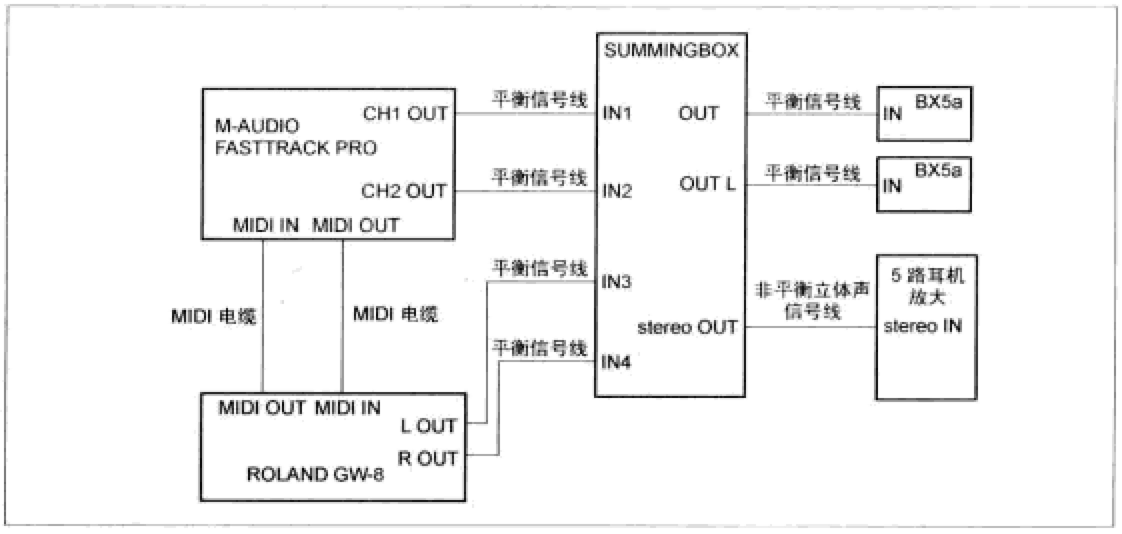


图1 混音工作室的系统连接图

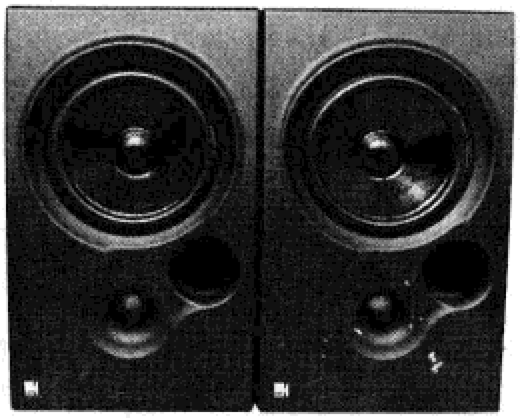
FASTTRACK PRO音频接口组成的音频工作站。ROLAND GW-8合成器在这里作为编曲键盘和硬音源使用。自制的10进4出SUMMING BOX在这个系统里主要用来扩展音频接口的输出。对于混音工作来说，我比较看重监听环节，监听设备添置得也比较多，既有专业级的近场监听音箱BX5a，又有民用发烧音箱CODA7，还配备了两只风格差异较大的耳机。

混音工作是否能得到好的结果和监听音箱有很大的关系，一对频率响应曲线平滑的专业监听音箱，对录音和混音工作来说绝对是必须的。

表1 业余混音工作室设备配置表

名称	参数
PC电脑	E7400 CPU，2GB内存，300GB硬盘
音频接口	M-AUDIO FASTTRACK PRO
近场监听音箱	M-AUDIO BX5a
耳机放大器	自制5路耳机分配器
信号分配器	自制10进4出SUMMING BOX
合成器	ROLAND GW-8
辅助键盘	CASIO PX100
辅助监听	KEF CODA7
辅助功放	自制LM4780后级
话筒	SHURE 14L
线缆	华敏话筒线、音箱线，自制MIDI线
插头	甬声TRS头，XLR头
素材盘	300GB移动硬盘
耳机	V6，HD495

◆ KEF的CODA7音箱，相信许多发烧友都不会感到陌生，这是一对音乐味浓厚的小型低价Hi-Fi音箱。

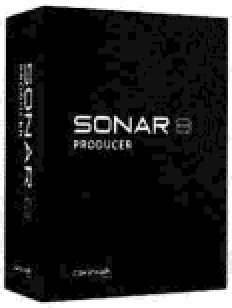


◆ BX5a是一对声音偏向电子舞曲的近场监听音箱，用来监听影视同期声的对白效果也超好，有源防磁箱体设计得非常紧凑，桌面摆位很方便。它的缺点是高音太明亮，如果只用BX5a来做混音，显然不够理想。

◆ Sennheiser的HD495是一只发烧耳机，音色偏向古典风格。

◆ SONY 的V6耳机（升级型号是7506），在很多商业录音室里都可以见到它的身影，这是一只低价位的监听耳机，灵敏度高，细节也好。

Adobe Audition



SONAR

这几件监听设备，可让我听到不同风格的回放效果，借以互相对比均衡。把最终作品做成CD、APE，在不同的CD机、MP3中播放，也是一种不错的检测手段。为了得到更好的结果，我还会借助音频编辑软件对声音进行频率分析。COOL EDIT和SONAR是我常用的两个音频编辑软件。

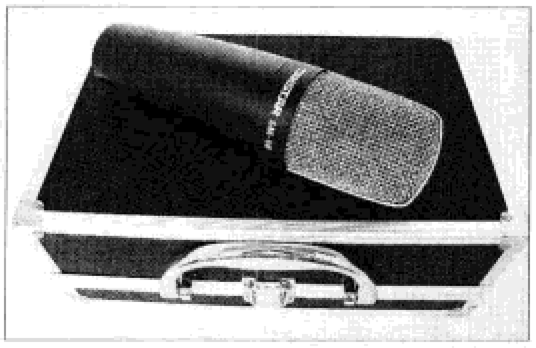
COOL EDIT是Syntrillium出品的一个入门级多轨录音和音频处理软件，因为它的界面简单，操作简便，深受众多录音爱好者的喜爱。现在COOL EDIT已经被Adobe Systems收购，软件名称也改为Adobe Audition。

混音工作室全局（照片左侧为我用的MIDI键盘）

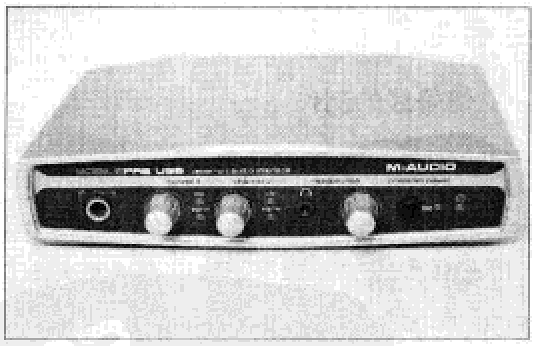
SONAR的前身就是电脑音乐诞生初期大名鼎鼎的Calewalk软件，Cakewalk具有MIDI制作和音频录音、混音功能，是一个综合性的音乐工作站软件，它也是全球音乐人使用最多的音乐工作站软件。SONAR在Cakewalk的基础上，增加了针对软件合成器的全面支持，并且增强了音频功能，使之成为新一代全能型超级音乐工作站。SONAR同时具有强大的Loop功能，能够用于专业的舞曲制作。

这个工作室从2005年开始搭建，逐渐添置设备，全套设备的造价大概在12000元。其中键盘乐器占的比重稍大，这是因为我对合成器的演奏很有兴趣，所以在键盘上的投资适当增加了些。其实，音频工作站的编曲键盘作为一个输入设备，只要具备单一的MIDI键盘功能就可以了，不需要音源和音序器这类功能。市场上也有专业的MIDI键盘，价格比合成器低很多。

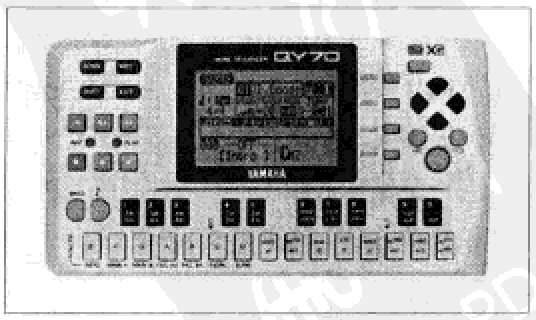
录音设备的选型和Hi-Fi音响一样，是一个见仁见智的问题。比如我就偏好ROLAND、YAMAHA和M-AUDIO，其他的音频设备品牌还有很多，可以先定好品牌



德胜SM-5B-S电容话筒照片



M-AUDIO MOBILEPRE USB 音频接口



QY70编曲机

表2　业余录音工作站设备配置表

名称	参数
笔记本电脑	联想Y430
话筒	德胜SM-5B-S
音频接口	M-AUDIO MOBILEPRE USB
音序器	YAMAHA QY70
合成器	自制模拟合成器
摄影灯	5500K/135W，两只配架和反光罩
线缆	HUAZHEN话筒线
插头	甬声TRS头，CANNON头，TRS转RCA头
摄像机	SONY HDR-HR10E
线间衰减器	自制

录音工作站

再根据需求选型。另外，我们可以多上网看看其他用户对一件设备的评价，通过Google可以搜索到很多音频设备的评论站点。在国内的“MIDIFAN”和“音频应用”这些网站上也可以获得许多有价值的信息。

2. 录音工作站

录音工作站的系统连接比较简单，基本就是由话筒、音频接口和笔记本电脑这三件设备构成的数字音频系统。因为没有建设专门的录音室，对话筒的要求也就降低了，话筒使用的是德胜生产的一款口碑较好的入门级电容话筒。

这个录音工作站使用音频接口是M-AUDIO的一款老产品，MOBILEPRE USB的特点是接口丰富，功能很强，提供了双路话筒输入、小型立体声话筒输入、辅助立体声输出及监听耳机插口，且内置有话放及幻象电源功能，缺点是采样率只有16bit。

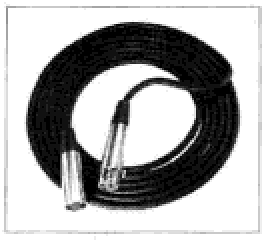
除了上述的音频设备，我还配备了一些视频和图像采集设备，比如摄影灯、摄像机和小型摄影棚。在这个录音工作站里也可以进行画外音、访谈、讲座的配音等工作。YAMAHA的QY70编曲机因为内置音色比较老，现在把它作为一个音序器来使用，控制自制的模拟合成器来做一些音响特效。QY70也可以作为乐曲演奏练习时的节拍器用。

自制录音设备

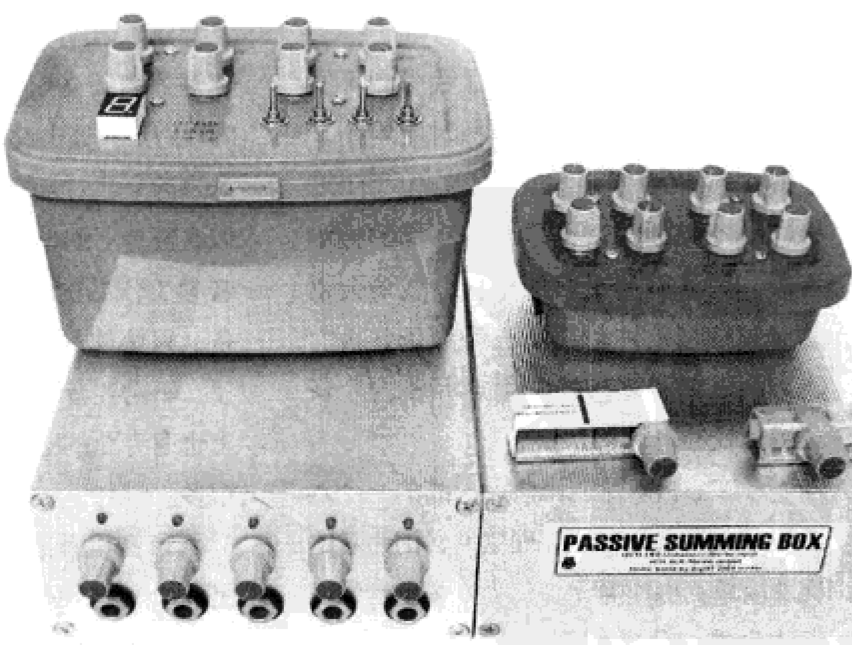
1. 信号线的制作

音频系统的信号线分为平衡线与非平衡线两类：平衡线是由两根导线和一根屏蔽线构成的，非平衡线中则只有一根导线，用屏蔽线代替第二根导线。

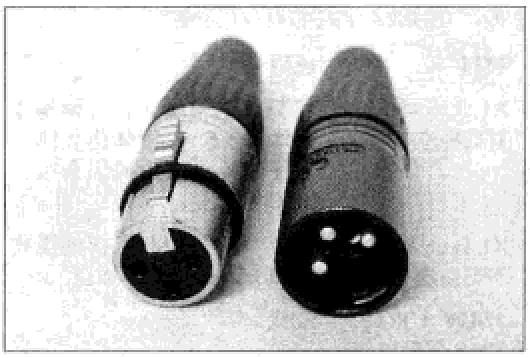
平衡线的优点在于其内部的两根导线拾取不需要的噪声信号的强度相等，因此二者能互相抵消掉，而非平衡线会把噪声信号传输到线路的下一级。如果音频信号很强或非平衡线很短，可能不会听到噪声。但是在音频工作室中，为了设备摆位和搬动方便，线一般都留得比较长，所以，就需要使用平衡线，并相应地使用平衡插头。


成品XLR平衡线

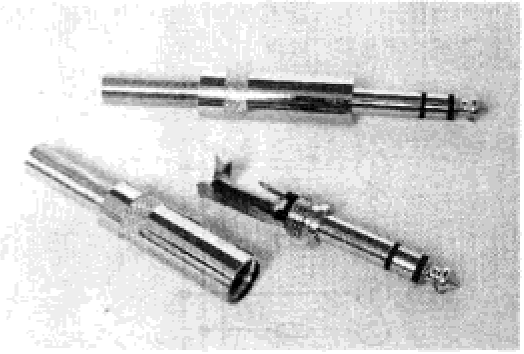
成品XLR公头转TRS平衡线



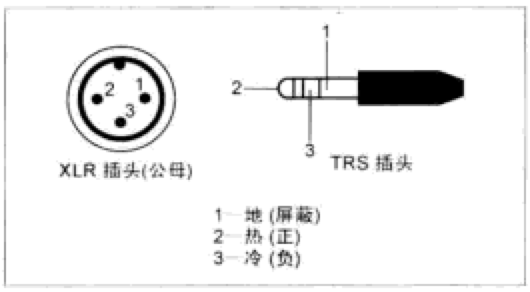
自制的设备



XLR插头，左边为母头，右边为公头



TRS插头及内部结构



XLR和TRS插头的1、2、3号端子排列

在市场上可以买到供录音室专用的预制成品信号线，比如秋叶原Choseal生产的成品线。此外，还有一些专卖音响配套线材和插头的商家，也提供信号线的定制服务。对于音响发烧友来说，自制平衡信号线也不是什么难事。音频工作室常用的信号线是XLR母头转TRS，通常用来连接话筒和音频接口。TRS转TRS以及XLR母头转公头，用来连接音频外设。

常见的平衡插头有两种：一种是XLR插头，俗称卡农头，分为公头和母头，还有一种是大三芯的TRS插头。

市场上的音响专用插头以宁波乐群厂生产的甬声牌口碑最好，乐群厂是个专门做音响插头的老牌厂家，现在也兼作瑞士NEUTRIK 发烧音响插头的产品。此外，也可以购买其他厂家生产的品质过硬的产品。

信号线可以使用上海华敏厂生产的华真牌双芯平衡线或者秋叶原的双芯话筒线。关于平衡插头的接法，记得我在电视台工作时，常听到这样一句口诀：“一地、二热、三冷”，也就是大家常说的“1地，2正，3负”。XLR插头会在它里面的3个端子上标注1、2、3的序号。

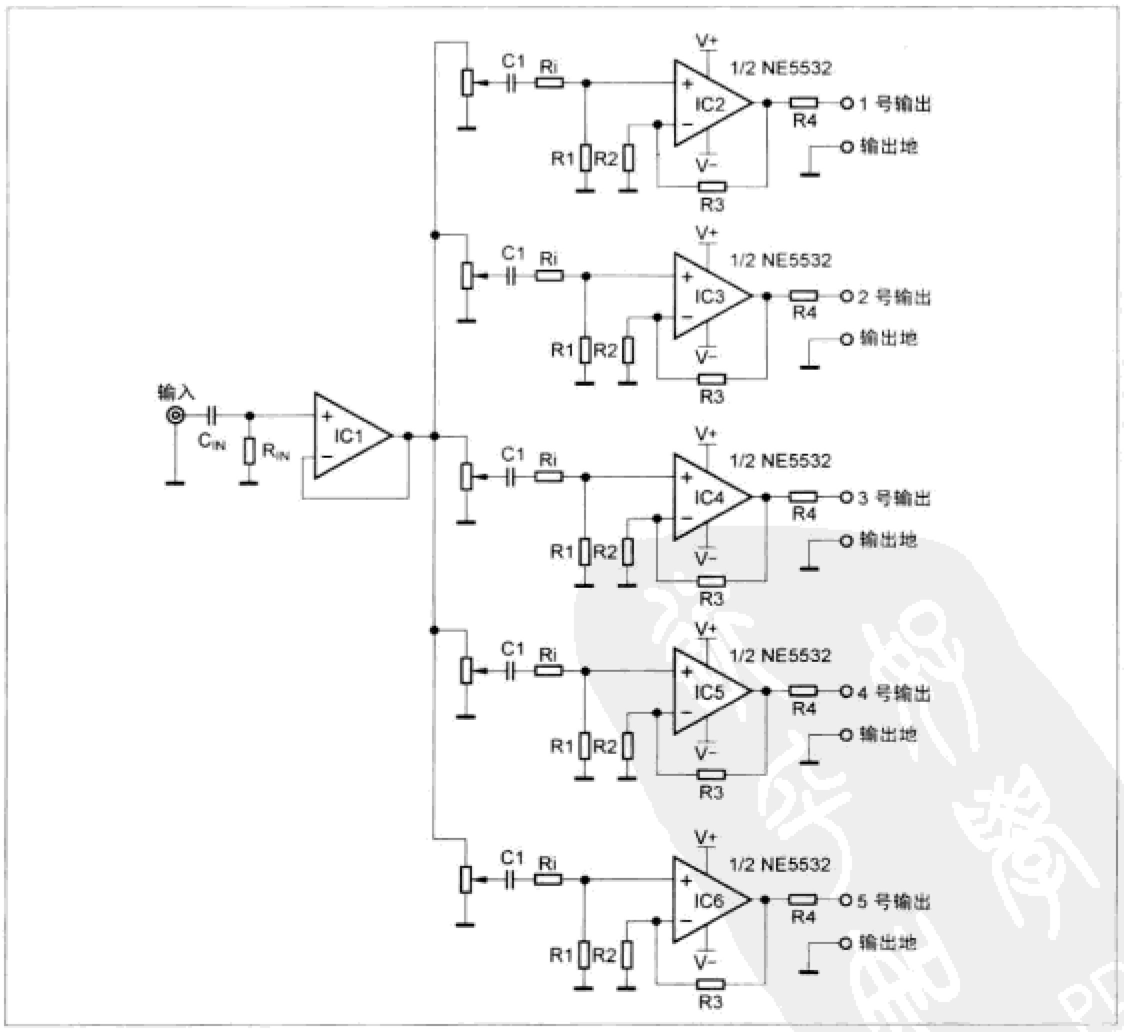
这是比较通用的接法，一般自制平衡信号线只要把线材两端插头的1、2、3端子对应连接起来就可以了，1号端子接信号线的屏蔽层，2、3号端子接信号线内部的两根芯线。某些欧洲厂家出品的设备可能以2或3脚为地，最好的方法还是先仔细查看说明书再确定。

2. 耳机分配器的制作

耳机分配器，简称耳分，是音频工作室里面必不可少的设备，它的作用是把音频输入信号分配成多个耳机输出。在录音的时候可以放在录音室里接多只耳机，给歌手的乐队听伴奏，在混音的时候也可以用来听小样。复杂一点的耳分还带有监听控制和对讲功能。

我自制的是一部五路立体声耳分，结构比较简单，有音响DIY经验的爱好者很容易制作成功。自制音频设备需要注意的是，要有母线和模块的概念，专业设备内部通常都设置有几根音频母线，用来分配或者汇总多路信号，模块化的思路是便于设备的功能扩展和维护。

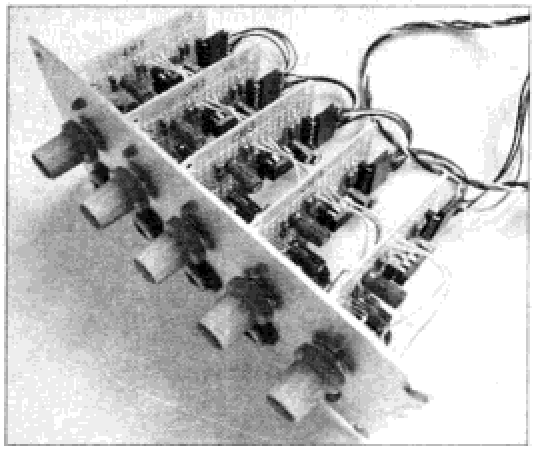
耳机分配器可以同时连接多路耳机来监听音乐的录制和回放过程，给音乐制作提供了很大方便。不需要反复插拔设备，通过音频编辑软件的切换，耳分可以同时给歌手和录音师提供几只耳机的监听信号。既可以在录音环节中监听演唱和伴奏，也可以在制作环节中监听话筒录进去的干声，还可以用来监听加上效果以后的湿声，方便录音者在多次录制时做参考对比，调整唱法。



五路立体声耳分线路图（一个声道的）

表3　耳机分配器元件表

编号	规格
IC2~IC6	NE5532
IC1	OPA2134
CIN	0.47μF
RIN	47kΩ
立体声音量电位器	47kΩ，5只
C1	0.47μF，10只
Ri	1kΩ，10只
R1	47kΩ，10只
R2	2.2kΩ，10只
R3	33kΩ，10只
R4	22Ω，10只
洞洞板，导线	适量
双15V电源	1只
机箱，插座，旋钮	一套



组装好的五路耳机分配器组件

3. SUMMING BOX的制作

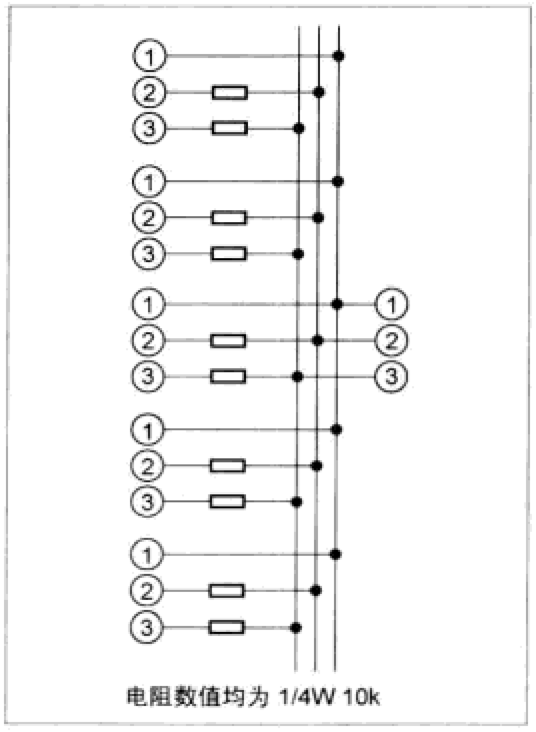
SUMMING BOX是近几年流行起来的新名词。简单地说，一只SUMMING BOX其实就是一台拆下了全部声音调整电路、只保留总母线的调音台。对于一般的小型音频工作室来说，一个高质量的音频接口就完全可以胜任了，直接用电脑把话筒的拾音信号用音频软件录到硬盘里就可以了，后期再在电脑里用软件进行混音，电脑软件实际上已经接管了调音台所承担的绝大部分工作。在数字化录音棚里，调音台也就是在整个录音流水线上介于话筒类拾音设备和录音设备之间的一个控制点。

自制SUMMING BOX其实就是自制一部超简版的调音台，它的作用是扩展音频接口的输入、输出通道数。入门级音频接口的输入和输出通道通常比较少，一般只有2~4路，SUMMING BOX可以连接在音频接口的输入端，扩展它的输入通道，也可以连接在音频接口的输出端，扩展输出通道数量。

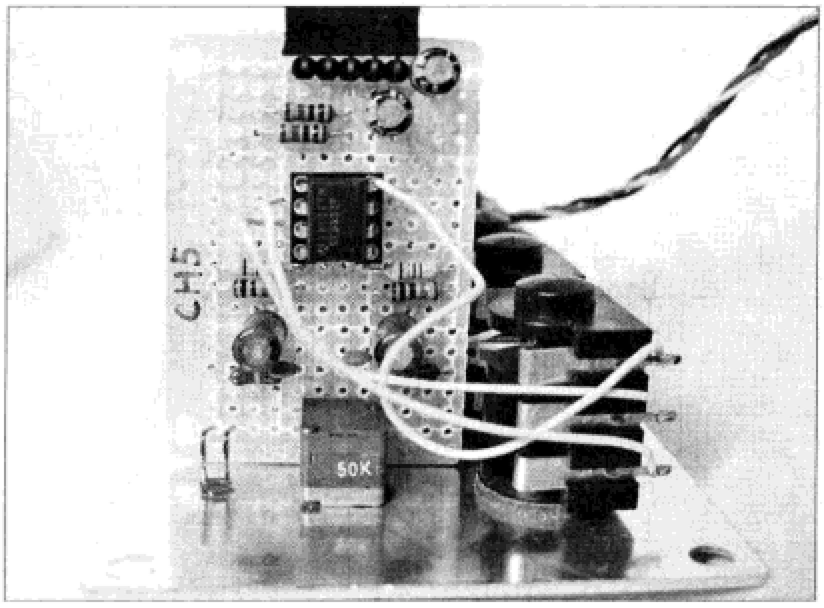
我制作的是一部10进4出的SUMMING BOX，这是一个根据我的系统连接进行的优化设计。SUMMING BOX的线路也非常简单，爱好者可以按自己的需要增加母

表4　SUMMING BOX材料列表

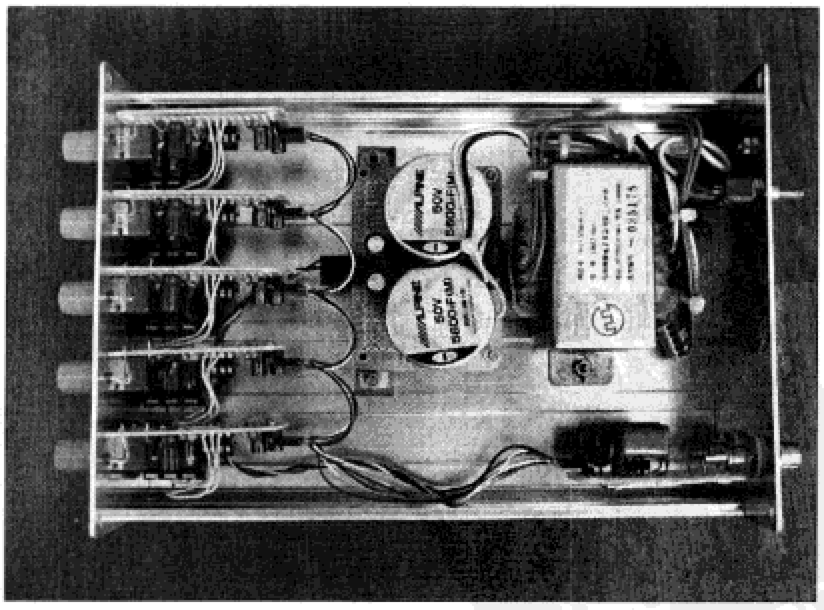
材料	说明
XLR母插座或TRS插座	10只，信号输入。可根据需要添加3.5mm立体声插座，方便连接小型数码录音机、MP3等外设
XLR公插座或TRS插座	4只，信号输出,可根据需要添加3.5mm立体声插座
1/4W 10kΩ，1%金属膜电阻	20只
优质导线	适量
铝制机箱	一个
标签纸，记号笔	适量



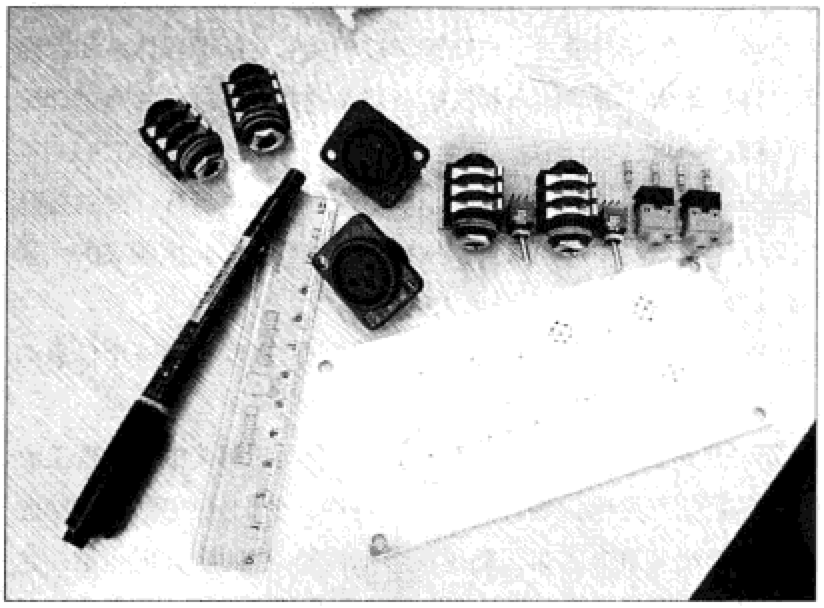
SUMMING BOX线路图



用洞洞板制作的单个模块耳分电路板实物



五路耳分内部图


自制SUMMING BOX的材料

焊接配线

线的数量，修改输入和输出的通道数。

制作SUMMING BOX需要注意的是，各个输入、输出插座与母线之间的物理连线的长度尽量一致，这样才不会出现电平偏差等问题。

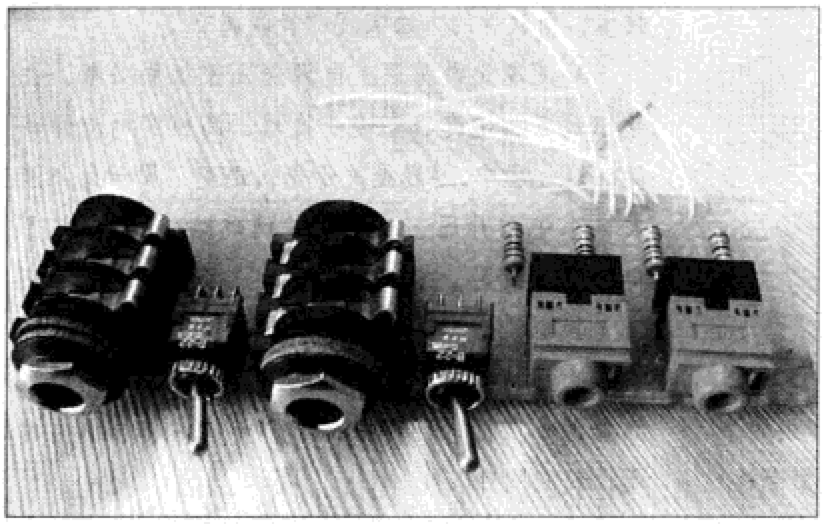
与DIY音响相同，焊接工作首先要保证焊点牢固、美观。多路信号汇集的母线可以使用优质铜线或者银线代替。另外，需要注意平衡信号插座正端和负端引至母线的导线长度应尽量均等，防止信号失真。

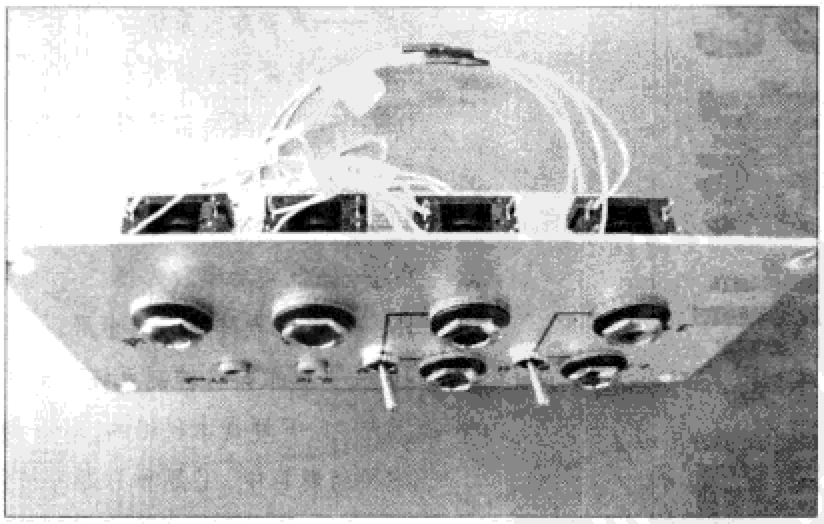
音频工作室有了SUMMING BOX的加入，扩展了音频接口的输入和输出通道，使录音和混音变得非常方便。比如我要用合成器和话筒做一个即兴弹唱，话筒与音频接口、合成器彼此之间就可以独立工作。SUMMING BOX可以把我的弹唱做现场混音，通过监听设备来回放出来。同时，借助音频接口和音乐编辑软件，电脑可以做MIDI轨与声轨的同步录音，灵活性很大，给后期混音带来了很大的创造空间。再比如，用几件插电乐器录制伴奏，我的音频接口只有两路输入，一件乐器的立体声输出就占满了，在使用中就会比较不便。此时，可以通过SUMMING BOX把它们直接进行混音，以同期录音的方式录制在一个立体声音轨上，省去了分轨录音的环节，提高了工作效率。SUMMING BOX的优点是可以在它的母线上实时混合几个通道的声音，对于即兴制作和现场演出都是非常有帮助的。如果我只是想演奏合成器，现有的系统也可以在不打开电脑和加载音频接口的情况下工作。

需要注意的是，SUMMING BOX作为一个被动式信号混合器，对输入信号存在插入衰减。通过下面的公式可以估算出它的衰减量：

插入衰减=20×log（1/*通道数*）

比如，10个通道的信号汇总到一根母线上进行混音，信号的衰减量就是20×log（1/10）＝－20dB。


焊接好的插座


组装完毕的SUMMING BOX组件

编者按:

瑞萨杯2011年全国大学生电子设计竞赛将于2011年9月开赛，该竞赛始于1994年，每两年举办一次。它采用“政府主办、专家主导、学生主体、社会参与”的运行模式，与高等学校相关专业的课程体系和课程内容改革密切结合，实施多年来，有效地推动了课程教学、教学改革和实验室建设的共同发展，并通过理论联系实际，全面检验和加强了参赛学生的理论基础和实践创新能力，在全国具有广泛的影响力。在2009年的全国大学生电子设计竞赛中，共有30个省区、938所高校、8766支代表队、26298名学生参赛，受到各高校及社会各界的广泛关注，已成为国内电子信息类学科竞赛中规模最大、持续时间最长、影响度颇高的大学生学科竞赛。今年预计将有超过3万名学生参赛，将是历届竞赛中规模最大的一次。

在紧张备战的8月，本刊特别策划了大学生电子设计竞赛专题，为所有备赛的各位同学创造一个信息沟通和实践经验分享的平台。

在本次专题的三篇经验介绍文章中，前两篇分别是由参加过第9届竞赛并获得全国二等奖的华南理工大学杜灿鸿和山东大学宋宏嘉执笔，分享他们参赛的经历与经验，在2009年的比赛中，他们分别完成的是A题（光伏并网发电模拟装置）和D题（无线环境监测模拟装置）。第三篇是由参加过第7届比赛、现为某外企音频工程师的王丰硕撰写，文章中简单回顾了他当年参赛的经历，并从自己切身体会的角度来告诉大家，从业余爱好者到专业学生再到专业工程师，应该具备什么样的素质。最后，我刊还特别邀请到本届竞赛的独家赞助商瑞萨电子（中国）有限公司的MCU产品中心应用技术部统括经理于涛先生，为我们进行了相关问题的解答。

希望我们的专题能为各位参赛选手提供一定帮助和借鉴，更希望所有正在备赛的同学在比赛中发挥自己的优势，取得满意的成绩。

2009年全国大学生电子设计竞赛赛题简介

2009年电子设计竞赛赛题相对于往届有较大变化，出题更侧重于新能源、节能、环保方向，并且都要求作品有尽可能低的功耗和尽可能高的性价比，题目的改革不仅要求参赛选手有更精湛的模拟电路设计水平，更考验了他们的实际应用能力。2009年的赛题有：

A题——光伏并网发电模拟装置

B题——声音导引系统

C题——宽带直流放大器

D题——无线环境监测模拟装置

E题——电能收集充电器

F题——数字幅频均衡的功率放大器

G题——低频功率放大器

H题——LED点阵书写显示屏

I题——模拟路灯控制系统

其中，A~F题是本科组的，G~I题是高职组的。本科组题目中，C题和D题考核低噪声宽带放大器的设计和高频无线应用能力，这2个考核方向经常出现在往届赛题中；B题需要用到智能小车，但重点在于设计一个方圆2m内的声音定位系统，这使得该届的智能小车题目相对于往年也有较大不同；F题考核两个方面，一是高效率功率放大器，最好采用D类放大器，二是“数字幅频均衡”，必须将音频信号进行A/D转换后，利用数字信号处理技术，用软件的方法实现“音调调节”。

A、E题是电源题，电源题几乎每届必考，往年出过三相逆变、直流变换器、高精度电流源等题。这一届中，A题是关于光伏逆变，属于太阳能发电系统中升压、逆变、并网电路，E题是关于电能搜集装置，核心在于设计一个低压宽范围直流变换器，出题者用意应该出于搜集环境微弱能量来为手持装置的电池充电。这两个考点均贴近新能源和节能、环保方向，今年或许仍会出电源题，我们拭目以待。

光伏并网发电模拟装置

◎杜灿鸿

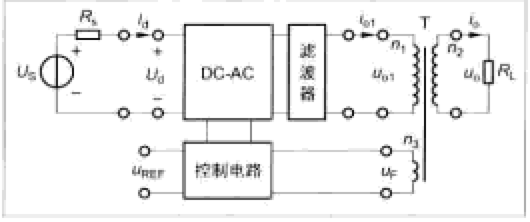
全国大学生电子设计竞赛每两年举办一次，这个比赛对于每个电子专业的大学生来说可谓意义重大，它不仅是能力的验证，更是意志力、钻研力的考验，还是一次宝贵的回忆，每个大学生的大学生涯中基本上只有1次参赛机会。回想起自己的参赛经历，仍印象深刻。

2009年的两道电源题，A题的基本难度要高于E题，因此选择此题的人数会相对较少，而奖项评定是每个赛题平均分配名额的，所以，选择难度高一点的题目，如果有把握做好，获奖的几率会更大，根据这个战略，笔者当初选定了A题进行制作。

光伏并网发电模拟装置（A题）

一、任务

设计并制作一个光伏并网发电模拟装置，其结构框图如图1所示。用直流稳压电源U_S和电阻R_S模拟光伏电池，U_S=60V，R_S=30~36Ω；u_{REF}为模拟电网电压的正弦参考信号，其峰峰值为2V，频率fREF为45~55Hz；T为工频隔离变压器，变压比为n2:n1=2:1、n3:n1=1:10，将uF作为输出电流的反馈信号；负载电阻R_L=30~36Ω。



图A 并网发电模拟装置框图

二、要求

1．基本要求

（1）具有最大功率点跟踪（MPPT）功能：RS和RL在给定范围内变化时，使$U_d=1/2U_s$，相对偏差的绝对值不大于1%。

（2）具有频率跟踪功能：当f_{REF}在给定范围内变化时，使u_F的频率$f_F=f_{REF}$，相对偏差绝对值不大于1%。

（3）当$R_S=R_L$=30Ω时，DC-AC变换器的效率$\eta \geq 60\%$。

（4）当$R_S=R_L$=30Ω时，输出电压u_o的失真度$THD \leq 5\%$。

（5）具有输入欠压保护功能，动作电压$U_{d(th)}=(25 \pm 0.5)V$。

（6）具有输出过流保护功能，动作电流$I_{o(th)}=(1.5 \pm 0.2)A$。

2．发挥部分

（1）提高DC-AC变换器的效率，使$\eta \geq 80\%$（$R_S=R_L$=30Ω时）。

（2）降低输出电压失真度，使$THD \leq 1\%$（$R_S=R_L$=30Ω时）。

（3）实现相位跟踪功能：当f_{REF}在给定范围内变化以及加非阻性负载时，均能保证u_F与u_{REF}同相，相位偏差的绝对值≤5°。

（4）过流、欠压故障排除后，装置能自动恢复为正常状态。

（5）其他。

电路设计方案迅速选定

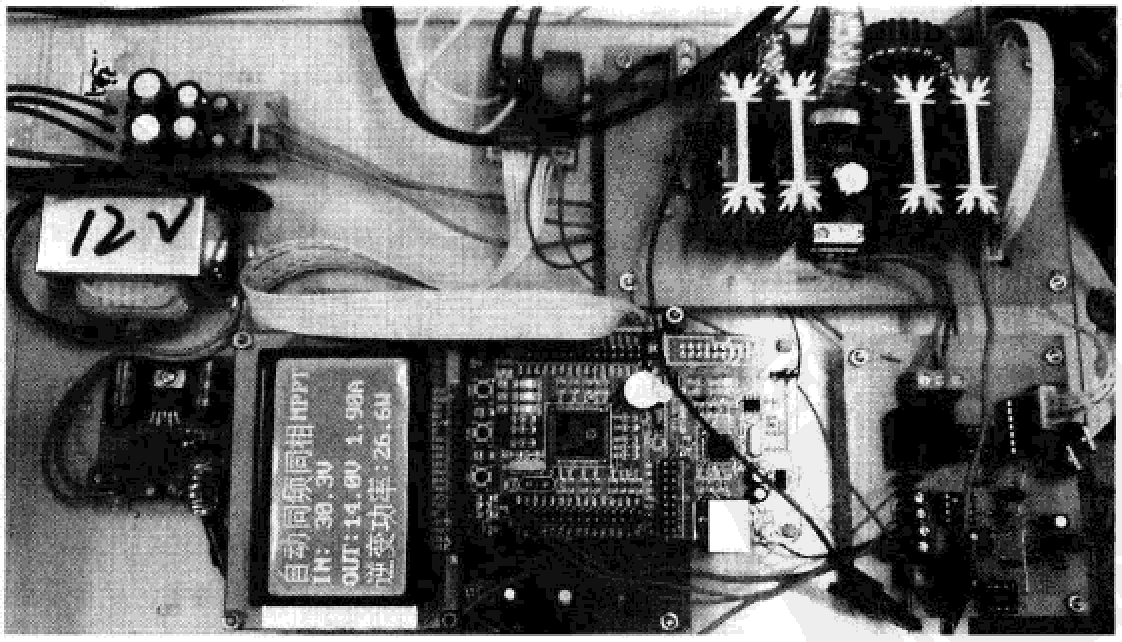
1. 单极性SPWM逆变方案

A题的设计关键在于DC-AC逆变电路，并网发电要求逆变波形失真低，光伏逆变要求高效率，因此系统必须采用SPWM逆变技术。

SPWM是一种特殊的PWM波，将正弦波以占空比的方式调制PWM波，让它每个周期的占空比都以正弦规律不断变化，就得到了SPWM波，如图1所示。SPWM是一种方波信号，可以进行“开关放大”，把SPWM进行低通滤波，滤除载波成分，就可以还原调制的正弦波。“D类功放”正是SPWM技术的一个应用。

逆变输出一般采用“MOS管H桥”对SPWM波进行功率放大后再进行低通滤波。根据H桥不同的工作模式，有“单极性SPWM”（见图2）和“双极性SPWM”（见图3）两种调制方案。

单极性SPWM工作时，在正弦波的正半周，H桥左臂（VS1、VS2）进行高频开



我的参赛作品——光伏并网发电模拟装置

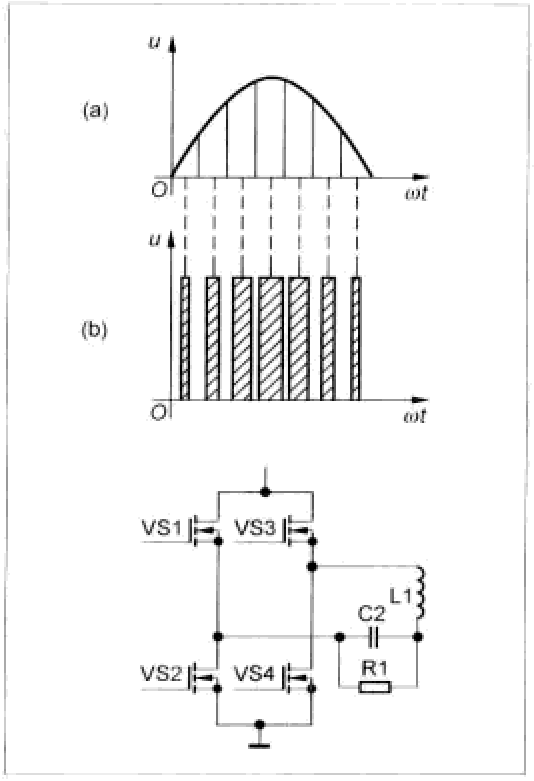


图1 SPWM和逆变H桥

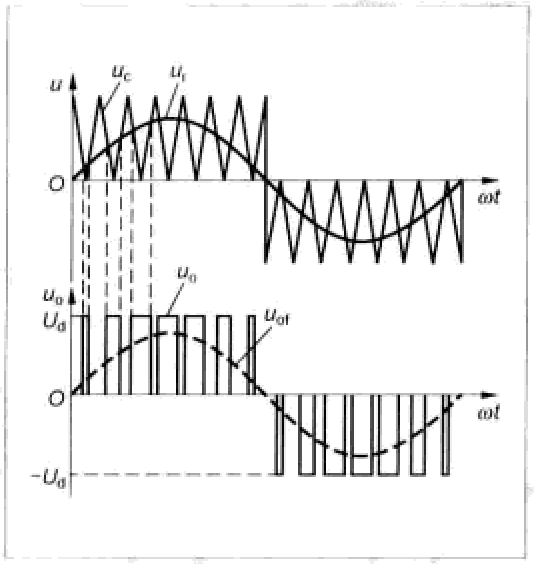


图2 单极性SPWM

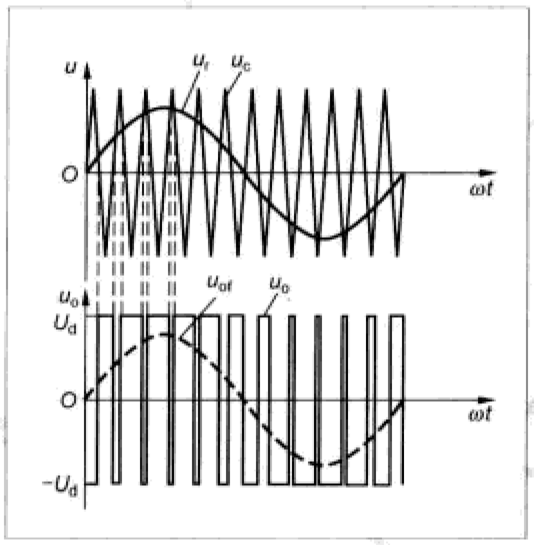


图3 双极性SPWM

关，H桥右臂保持下管VS4导通，正弦波负半周，H桥右臂（VS3、VS4）进行高频开关，H桥左臂保持下管VS2导通，而对于双极性SPWM，H桥中两个桥臂同时进行高频开关。这两种调制方法均能在负载两端产生效果几乎一样的逆变波形。

单极性SPWM只有1个桥臂进行高频开关，相对于双极性SPWM，能大大减小晶体管的开关损耗，因此，单极性SPWM技术能提高转换效率。出于这个原因，笔者选择了单极性SPWM技术进行系统设计。不过，单极性SPWM的逆变波形容易出现过零点失真，需要特别注意。

2. 整机电路设计

确定了核心方案，笔者和队友迅速着手电路设计，经过后期调试，不断设计修改，最终确定的整机电路见图4。

逆变H桥的工作电压最大60V，电流不超过3A，开关频率82kHz。功率管采用了IRF540，耐压100V，电流30A，导通电阻0.05Ω，开关时间小于100ns，足以胜任本系统，而且IRF540的价格也合理。H桥存在上管（VT1和VT3）驱动问题，本系统采用基于自举电容浮驱动原理的IR2111进行浮驱动，效果不错。

SPWM产生电路是系统的核心，电压、频率、相位等负反馈闭环调节功能的实现通常依赖于对SPWM波参数的修改。简单地说，改变SPWM波的最大占空比值，就能控制逆变输出电压的幅度；改变SPWM中调制波的频率、相位，就能调节输出波的频率和相位。

SPWM有硬件和软件两种截然不同的产生方法，硬件方法一劳永逸，不过难度高，调试麻烦，软件方法容易搭建硬件平台，不过就担心代码复杂，比赛时间不够，调不出来。笔者采用了硬件方法，由于SPWM方面的实践不多，后来在调试的时候也吃了不少苦头。在这里，建议有PWM模块编程经验的参赛者，尽量采用软件SPWM，相对来说容易调试，而且这也是以后的主流技术。

笔者的硬件SPWM电路采用了分立元件进行设计。NE555产生一个82kHz、占空比为97%左右的方波，经过VT2反相后变成占空比约2.5%的尖脉冲，该尖脉冲周期性地触发场效应管VT1，使其导通和截止。电容C4两端得到周期性的充放电。如果适当选择时间常数，可以在C4两端得到一个线性很好的锯齿波，该锯齿波经过放大后送往SPWM比较器，其优点是无直流偏置。

参考电压U_{REF}是一个正弦波，由外界输入。把这个正弦波进行绝对值运算后，再与锯齿波进行比较，就能产生单极性SPWM波。绝对值电路采用TL084中的两个运放构成，比较器采用LM311。

硬件SPWM的一个设计难点是实现题目要求的MPPT功能，实现$U_d=U_s/2$。笔者是这样实现的：通过控制锯齿波产生电路的充电电压，从而控制锯齿波的幅度，达到控制SPWM最大占空比目的。

设锯齿波的峰值为V_p，锯齿波的充电电压为V_{ctl}，它们之间关系为：

$$V_P=V_{ctl}\times\frac{T}{R_6C_4}$$

为了得到比较好的线性，一般取$R_6\times C_4>5T$。可以看出，V_p受控于V_{ctl}，V_p直接决定了SPWM波的最大占空比。因此，V_{ctl}能够控制逆变输出电压大小，从而达到题目要求的MPPT指标。V_{ctl}由MPPT电路产生，原理很简单，合理设置图4中R1～R4和RP1的阻值比例关系，环路稳定时就能实现$U_d=U_s/2$。

另一方面，SPWM需和与门进行逻辑变换，转换为2路SPWM，分别送到H桥的两个桥臂。

制作过程中难题不断

全国赛4天3夜，很多电路都要从头做起，而且还得花时间编写程序，时间安排和团队合作分工就显得很重要。

第一天：早上8：00赛题发布后，我

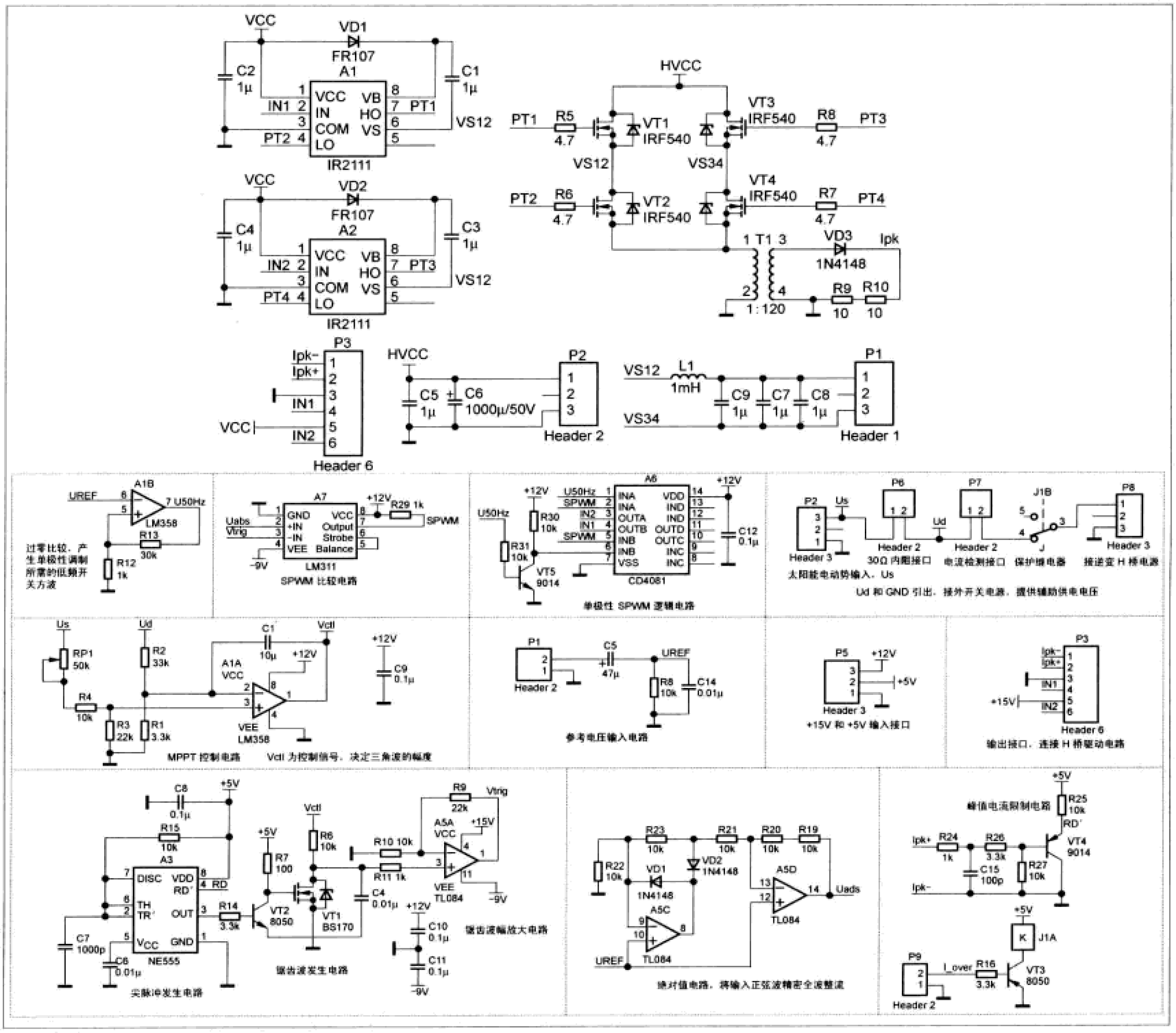


图4 整机电路图

们迅速选题，并着手系统设计，在傍晚时分基本确定了整个系统的硬件设计，并于晚上通宵画PCB，进行部分电路板的制作、焊接；

第二天：调试已制作的电路板，并完成余下电路的PCB设计和硬件制作，到傍晚已经完成了全部硬件电路的设计；

第三天：调试；

第四天：撰写论文。

其中，第三天的调试过程可谓曲折不断……

问题1：开关电源供电引起干扰

题目中有一个指标就是尽可能地降低辅助电路的功耗，并尽可能让辅助电源简单。为了迎合这个要求，原设计的辅助电源全部使用开关电源进行供电，共有3路，两路buck（降压）电源：+12V、+5V，还有一路电荷泵制作的-9V电源。

开关电源有较高的转换效率，并且能方便地从母线取电，不过开关电源输出电压的尖峰干扰问题难以处理。调试中我们发现，SPWM发生电路中，由于运放TL084的工作电压为+12V和-9V，运放对噪声比较敏感，并且本电路中运放工作在小信号模式下，结果它被开关电源的尖峰脉冲严重干扰，无法输出正常波形。

这个问题困扰了我几个小时，刚开始我并未意识到是开关电源供电引起的问题，后来发现了问题所在，便采用差模滤

波器和共模滤波器双管齐下，仍然不能解决。无奈之下，只能牺牲开关电源的低功耗优势，折中采用一个双12V的变压器，配合78xx系列稳压芯片进行辅助供电，问题才得以解决。

建议：全国赛时间紧凑，电路制作过程中很容易出现低级错误，为了避免不必要的时间浪费，建议先采用实验稳压电源调试正常后，再使用自制电源。

问题2：锯齿波发生电路采用MOS管不当

锯齿波发生电路的原理很简单，如图5所示。VT1截止时，C4充电，电压线性上升，VT1导通时，C4通过VT1放电。原设计为了使C4迅速放电，采用导通内阻极低的大功率NMOS管IRF3205，IRF205的电流可达100A，导通电阻仅几十毫欧。调试时我们发现锯齿波发生电路工作不正常，锯齿波波形很差，而且直流偏置不为零。

起初，我误以为是R6、C4参数计算出错，后来终于发现问题在于VT1。有2点：IRF3205属于大功率大电流NMOS，其开关速度是比较慢的，而且大功率管子的漏电流都比较大，这导致了波形失真和直流偏置漂移问题；其次，原设计VT1的驱动电压为12V，在这里的小电流应用中，12V会导致MOS管深饱和，降低了开关速度，进一步导致波形不正常。

把小功率NMOS管更换为BS170（高速小电流，导通电阻1Ω），并把驱动电压改为5V，问题便迎刃而解。

建议：选择器件时，大功率电路留余量，小功率电路宜适量。

问题3：电压比较器的问题

SPWM波由锯齿波和正弦波通过比较器产生，原设计采用TL084中的一个运放作比较器。调试时候出现了奇怪现象——滤波后正弦波出现较大交越失真，原因是TL084工作速度不够快。TL084的输出压摆率高达16V/μs，从这一点看，TL084用作高速电压比较器似乎不错，但我仔细阅读TL084的官方资料后才发现，16V/μs的压摆率是在10V输入电压条件下测试的。

在SPWM比较器中，正弦波的过零点附近的电压幅值很小，锯齿波的幅值同样很小。这种情况下，TL084的净输入电压是很小的，这就导致了输出压摆率大大降低。另外，TL084带宽只有2~4MHz，82kHz的频率下增益不足，从而使SPWM波在正弦波过零点附近出现了调制失真，这直接导致了逆变输出的波形失真。

显然，要解决这个问题，必须更换高速、高灵敏度的电压比较器。考虑各种因素后，我换用了常用的LM311。经实验验证，LM311能够输出很漂亮的100kHz方波，灵敏度也相对较高，更换之后逆变输出的过零失真大大减小，虽仍稍有失真，不过影响不大。

建议：尽可能采用自己熟悉的器件和电路，避免不确定的因素引发的问题。

实现指标比较理想

经过1天1夜的奋战调试，我们终于把电路全部调好，并且达到了较高指标。

1. 频率跟踪

硬件SPWM最大优点就是频率跟踪性能特别好。理论上，逆变输出波形和输入波形是完全一样的。实验测试证实了这个观点，输入波形和输出波形过零点完全重合，难以测量频率差。

2. MPPT

太阳能电池板的MPPT控制是比较复杂的，但本题只需实现$U_d=U_s/2$，实验结果如下：

$R_S=R_L=30\Omega$，$U_S=60.60V$，$U_d=30.32V$，相对偏差：+0.067%；

$R_S=36\Omega$，$R_L=30\Omega$，$U_S=60.65V$，$U_d=30.24V$，相对偏差：-0.28%；

$R_S=R_L=36\Omega$，$U_S=60.58V$，$U_d=30.28V$，相对偏差：-0.033%；

MPPT是用硬件实现的，如果电阻的阻值漂移小，能实现很高精度。

3. 失真度

参考电压：频率50Hz，电压峰-峰值2V，*THD*=0.2%，负载阻性30Ω。

输出电压：*THD+N*=6.2%。

波形失真是由于过零失真引起的，这是单极性SPWM难以处理的问题，改善的方法就是换用更好的电压比较器，并缩小H桥的死区时间。

4. DC-AC转换效率

由于采用单极性SPWM方案，DC-AC效率较高，实测如下：

	U_d (V)	I_{in} (A)	U_{out} (V)	I_{out} (A)	效率 η
1	30.3	0.766	13.6	1.54	90.2%
2	30.1	1.024	14.5	1.77	83.3%
3	30.2	1.022	14.0	1.91	86.9%

5. 相位跟踪

从理论上讲，逆变输出波形跟输入参考波形是没有相位差的。但接负载之后，由于逆变电源存在等效内阻，可能会存在相位漂移。

如果接纯电阻负载，输出没有相位差，这一点已通过实验验证，输入、输出波形的过零点完全重合。如果接非纯电阻负载，就会出现相位差，取决于所接电抗的大小。

不过遗憾的是，当初参赛时尚未领悟到上述道理，当时笔者认为，逆变 H 桥采用 MOS 管，内阻应该相当小，不至于引

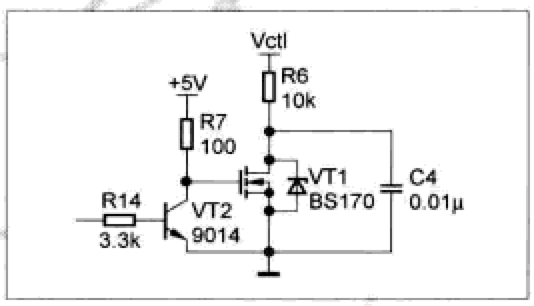


图5 锯齿波发生电路原理图

起相位大幅度变化，因此在进行系统设计时没有设计相位补偿电路。由于没有做相位补偿电路，在作品评审时，带上容性负载后，竟然出现了高达 15° 的相位漂移！

实战效果总结

从指标上看，我们队伍完成的作品还算成功，除了相位和失真度无法达到题目要求外，其他功能指标都实现了，被顺利评为广东省内一等奖，并被推荐参加全国评审。我和队友满怀希望期待全国评审，后来的结果却有些失望，由于我们设计的电路中没有相位跟踪功能，只被评为了全国二等奖。虽然说这个成绩也算可以，但因小失大，终究可惜。不过仔细想想，并网发电严格要求同相，单凭这一点，我们的作品无法“走得更高”，也可以理解。

后来，我经常在想，如何解决我们系统中的两个缺陷——相位跟踪和波形失真。相位跟踪功能需要相位跟踪补偿电路：

1. 相位检测。可以采用CD4046进行相位检测，把相位差转换为一个直流电压。

2. 移相电路。移相电路用来对参考电压进行预处理，从而达到修正输出相位的目的。移相电路的设计却颇有难度，笔者想到的就是采用变阻的RC滤波器，利用RC移相电路，通过调节R的阻值来实现移相。这就把问题转换为如何实现一个“压控电阻”。我首先想到的是用MOS管，不过MOS管是有源器件，应用起来可能又有想不到的问题。后来想到一个挺好的方法，就是利用光敏电阻来实现“压控电阻”：电压——二极管转换为光强——光敏电阻转换为电阻值，通过这样的方法来实现变阻的RC滤波器。

至于波形失真，改善的方法就是换用更好的电压比较器，并缩小H桥的死区时间，或者直接采用双极性SPWM。

另一种解决问题的思路，就是采用软件方法产生SPWM，利用软件方法判断相位差，调节SPWM波起始参数，达到相位跟踪的目的。在完成了这次比赛作品后，笔者更倾向于用软件方法来产生SPWM波，虽然程序编写麻烦一点，但能使硬件更简洁、调试更容易。

这些改进想法的具体效果如何，我就没有进行后续的制作、测试了。不过，我经常对自己鼓励的一句话就是：“如果再做一次，我一定会做得更好！”现实中“再来一次”的机会很少，成也萧何，败也萧何，在失败中吸取教训，在成功中总结经验，不断提高自己，才能在以后减少失败的概率。全国大学生电子设计大赛是我大学生涯的里程碑，那一年我刚好升大三，一直记得那4天3夜的废寝忘食。

成功总是留给有能力的、有准备的、坚持不懈的人，预祝今年的参赛选手取得佳绩！

无线环境监测模拟装置（D题）

一、任务

设计并制作一个无线环境监测模拟装置，实现对周边温度和光照信息的探测。该装置由1个监测终端和不多于255个探测节点组成（实际制作2个）。监测终端和探测节点均含一套无线收发电路，要求具有无线传输数据功能，收发共用一个天线。

二、要求

1. 基本要求

(1) 制作2个探测节点。探测节点有编号预置功能，编码预置范围为00000001B ~ 11111111B。探测节点能够探测其环境温度和光照信息。温度测量范围为0 ~ 100℃，绝对误差小于2℃；光照信息仅要求测量光的有无。探测节点采用两节1.5V干电池串联，单电源供电。

(2) 制作1个监测终端，用外接单电源供电。探测节点分布示意图如图1所示。监测终端可以分别与各探测节点直接通信，并能显示当前能够通信的探测节点编号及其探测到的环境温度和光照信息。

(3) 无线环境监测模拟装置的探测时延不大于5s，监测终端天线与探测节点天线的距离D不小于10cm。在0 ~ 10cm距离内，各探测节点与监测终端应能正常通信。

2. 发挥部分

(1) 每个探测节点增加信息的转发功能，节点转发功能示意图如图2所示。即探测节点B的探测信息，能自动通过探测节点A转发，以增加监测终端与节点B之间的探测距离 $D+D1$。该转发功能应自动识别完成，无需手动设置，且探测节点A、B可以互换位置。

(2) 在监测终端电源供给功率≤1W，无线环境监测模拟装置探测时延不大于5s的条件下，使探测距离 $D+D1$ 达到50cm。

(3) 尽量降低各探测节点的功耗，以延长干电池的供电时间。各探测节点应预留干电池供电电流的测试端子。

(4) 其他。

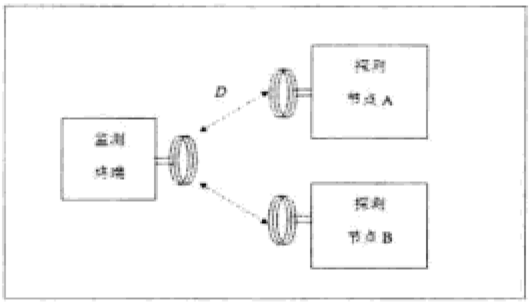


图1 探测节点分布示意图

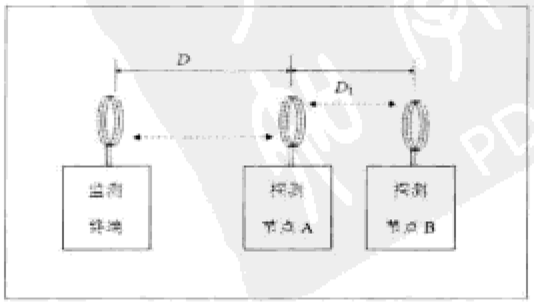


图2 节点转发功能示意图

无线环境监测模拟装置

◎宋宏嘉　王静轩　郝计军

1865年，一个叫麦克斯韦的英国青年"低调"地把他的论文《电磁场的动力学理论》提交给了皇家学会，论证了电磁波传播的理论基础。由于他这种极度谦虚的行为，后代们遭受"可怕的高频模拟电路"的时间向后推迟了几年，但是那些物理学家并没有"放过"我们，令无数学电子的小朋友头疼的模拟电路时代还是堂堂正正地来了，后来他们竟然还充满爱心地"赠送"了数字电路！

于是无数的漫漫黑夜中，出现了许多卖力苦学的电子爱好者，尽管困难重重，但他们并没有放弃，因为所有的汗水最终都转化为了丰硕的成果，看着一个简单的LED一闪一闪，"单调"的背后意味着什么？这可能就是电子爱好者独有的快乐吧！

作为"职业"的电子设计爱好者，笔者心里面揣着梦想，手上拿着电烙铁，参加了2009年NEC杯全国大学生电子设计竞赛，选题为无线环境监测模拟装置（D题），并最终获得了国家二等奖，所获经验不敢低调"珍藏"，在此与各位爱好者交流，让我们一起揭开高频模拟电路的神秘面纱，不再觉得无线不可触摸，并一起踏上电子设计的神奇之旅。

磨刀砍柴之赛前准备

万事开头难，肯定有不少读者担心自己基础不好，这个其实没有必要。依笔者看来，电子设计大体上是遵从入门难，中间容易，想往更好的方向发展更难的"难—易—难"的模式，难也只是相对的，因为相信经过努力，问题终能迎刃而解。有一个好的规划和前期准备是最重要的。

组队是最重要的环节，要十分重视，只有三个人团结合作才能最终取得好成绩。不是说三个人的基础都非常好才能获奖，相反，如果三个人基础都很好，但在讨论的时候可能会彼此不认同，争强斗嘴，结果恰恰会适得其反。如何把握好组队的标准呢？

笔者认为应有以下几个基本原则：

1. 队友关系融洽，能够相互理解，遇到困难相互鼓励，不轻易放弃，这是最重要的。

2. 从硬件设计、程序编写、文书写作三个角度出发，三个人分别有至少一项擅长的不同技能，当然技多不压身，在此基础上多多益善。

3. 队员性格上，最好是外向型和稳重型结合，因为外向的人对后期比赛答辩的时候帮助很大。虽然电子设计竞赛是量化评分，但好的答辩效果能够给团队增色不少，而稳重型选手在比赛过程中，尽管时间紧张，能够很淡定，给整个团队很多鼓励，特别是那种遇到困难不放弃的品质。

4. 建议团队成员多多敞开心扉交流，就参加比赛的意义，对结果的期望等问题交流沟通，因为比赛不可避免地会涉及到一些个人意愿问题，相互交流就可以彼此了解，关系融洽。

组队完成后，就开始了"庄重的"抢书工作，所谓"抢书"，是因为有关电子设计竞赛培训的教材比较少，而有的学校参赛的队伍较多，图书馆的相关参考资料明显不足，占好先机，把好书借到手会事半功倍。当然了，好的资源需要大家一起分享，遇到了好书也要拿出来让大家共同学习。

笔者按照类型推荐：

1. 最好的书莫过于往年《全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编》，由竞赛组委会根据往年优秀作品选编出版，看《选编》能够帮助初学者迅速上手，掌握常用芯片和电路，并对试题分析有一个整体认识，效果最好。

图1 制作整体效果图

2.《无线电》往年的文章，特别是“玩转单片机”板块中的许多文章，写作精细，还有开源代码资料，读者可以根据具体选题选读。

3. 电子设计竞赛培训教程，许多专家根据不同题目分类选编了一系列教材，读者可以根据具体未来的选题进行选读。对于初次参赛的读者，建议一定要多读相关培训教材，只有接触的电路多了，才能根据具体情况调整改进，凭空的“设计”要求太高，推荐《实用电子系统设计基础》作入门读物。

此外，除了纸质图书，网络上还有许多电子资源，包括常见资料、各类电子设计相关的论坛、交流群等，无论是具体或者是宽泛的经验，读者都能获得知识。

培训阶段一定要多和辅导老师交流，可以就一些团队关心的核心问题向老师请教，并咨询有关选题方向、培训要求等细节。一般每个学校都会为竞赛进行一段时间的赛前培训，这是一个团队成长的黄金期。在这个过程中，三个人相互磨合，共同解决此过程中的困难，培训的过程也是参加竞赛中最快乐、最值得回忆的过程，那时候学到的东西最多。同时也要多跟往年参加过竞赛的学长交流，训练时尽早确定方向，当然有能力的团队可以准备多个方案，选题时不要贸然选择看似简单但没训练过的题目。选题后要花比较大的功夫去讨论、明确思路，尤其是做硬件的队友一定要心里有数。

以上所谈略显空泛，但都是基础，打好根基是关键之至。竞赛试题虽然是全国上报、专家投票选题、适度修改。但一般来说，都可以分为电源类、仪器仪表类、高频无线电类、智能车控制类等。对打算选择高频无线电类试题的读者来说，培训过程中要多涉及一些模拟电路、通信方面的书。经过仔细分析往年试题，笔者对2007年的无线识别装置（B题）很感兴趣，在培训中就按照要求做了一遍，读者可以根据具体选题方向试做往年的1～2个试题。

艰苦卓绝之4天3夜

1. 硬件思路

笔者所选试题为无线环境监测模拟装置（D题），任务是设计并制作一个无线环境监测模拟装置，实现对周边温度和光照信息的探测。该装置由1个监测终端和不多于255个探测节点组成（实际制作2个）。监测终端和探测节点均含一套无线收发电路，要求具有无线传输数据功能，收发共用一个天线。有了培训时试做“无线识别装置”的经验，我们小组很快商量出了大体方案，但事实并非如此简单，随着进一步分析试题，发现实际操作要比想象中的困难很多。

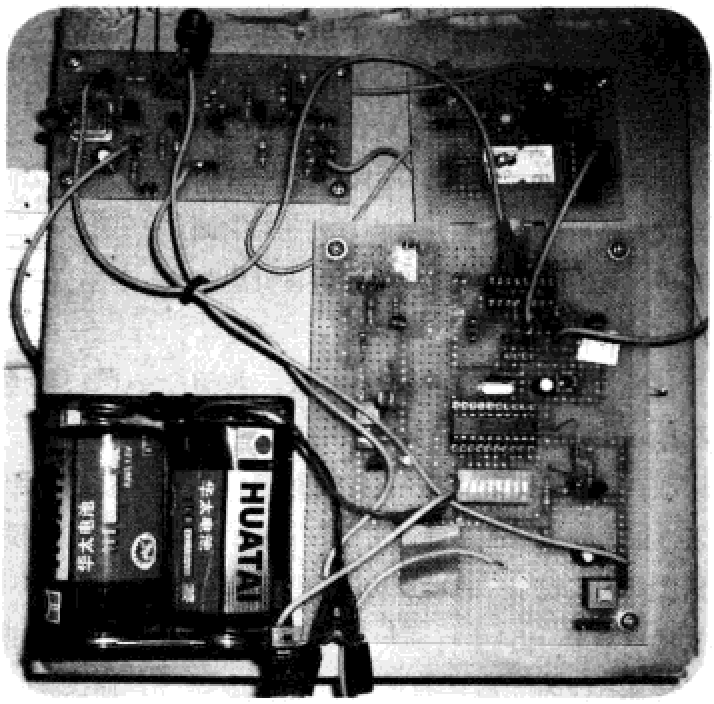


图2 单个子站节点

首先，题目明确要求无线收发电路需自制，不得采用无线收、发成品模块，这就要求团队要从最基本的模拟电路开始搭建系统。其次，题目中对无线发射、接收线圈的参数限制得很严格，无线传输载波频率要低于30MHz，这些要求意味着我们可能需要自己来制定无线信号的传输协议（尤其是一个简单的时间限制，看似简单，其实关系到如何辩证地考虑时间与通信协议及硬件限制的关系）。此外，题目要求探测节点只能采用两节1.5V干电池串联，单电源供电，意味着我们还需要在系统的节能性上进行必要的考虑和优化。

经过接近一天的小组讨论，我们最终确定了采用增强型低压超低功耗STC系列单片机12LV5410AD，参考ZigBee组网通信协议，结合单片机内部串口进行数据传输。主站和各从站载波频率为2.000MHz，ASK调制，通信波特率1200bit/s。该装置的探测时延小于1s，各节点可检测温度及光照信息，并能够实现自动转发其他节点的探测数据。在模拟电路方面，尽可能地采用分立元件来搭建电路，这样能最大条件地符合题目的要求。最终制作出的作品，基本达到了所有要求，如图1所示，单个子站的电路实物如图2所示。

在单片机选择上，为满足低功耗的要求，采用了增强型低电压超低功耗STC单片机STC12LV5410AD。该单片机具有低电压、低功耗、超高速并且兼容传统80C51单片机的特点，能够适应恶劣环境。功耗极低（正常工作模式：典型功耗2~4mA），掉电模式可由外部中断唤醒，十分适用于电池供电系统。自带AD转换器，方便使用模拟量传感器，性价比突出。

在振荡电路设计上，我们采用了有源晶振，有源晶振不需要内部振荡器，信号质量好，比较稳定，而且连接方式相对简单，不需要复杂的配置电路。相对于无源晶体，有源晶振带负载的能力较强。实际测试的样品为 TOYOCOM的 711SC，2.000MHz 的输出频率。在3V/5mA供电情况下，输出振幅2.8V方波，能很好地适应电池供电环境，性价比高。

设计中采用NTC负温度系数热敏电

阻器，这种传感器体积小、适用电压范围宽、温漂较小，能够满足题目要求的绝对误差小于2℃的指标，性价比高。整个设计使用最多的应该算是三极管了，有的当放大器用，有的当开关用（用于ASK调制），有的做振荡电路用，硬件设计思路见图3。

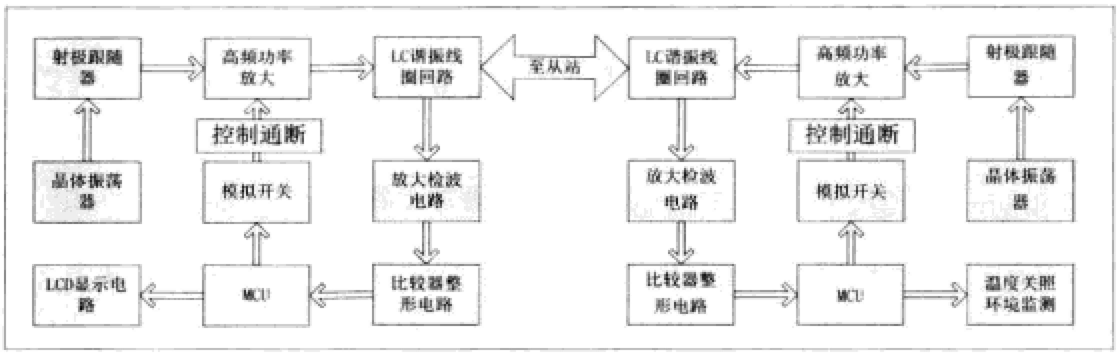


图3 硬件框图

经过深入分析，联系实际，仿照Zigbee组网通信协议，并联系51串口通信原理，我们最终定义了一种合适的通信协议，最大限度释放了信道占用率，提高通信质量，实现了“转发”功能。

系统基于51串行通信硬件结构，题目要求5秒内完成所有通信，由于硬件模拟电路部分限制，要想获得准确的数据，应适当减少通信速率，降低串口波特率，以防止尖峰脉冲在信道通信中不易整形的问题。经过测试，将波特率设置为1200bit/s最为合适，分析计算得知，该模式下每秒能够传送150字节数据，一个字节数据传送需要6.65ms，5秒内可以传送768字节，远远高于需求量（约75字节/周期）。

2. 软件思路

（1）主站软件分析：初始化后将两字节0x00（主站向周围子站索要ID命令，因为从站编码从1到255，0未占用，所以采用0为特殊码字）送给SBUF，马上延时等待串口中断，获得从站数据及从站ID。若有两个从站，则分时向从站索要数据，命令格式为0x00+ID+0x01，完成一次通信；若只有一个从站，则进入转发命令模式，向所知从站发送转发命令，格式为0x00+ID+0x02，等待串口接收数据。

（2）从站软件分析：开始初始化后进入等待串口接收中断，获得数据后比对本站ID，不同则放弃，相同则立即发送本机ID作为应答主站信号(为防止信道拥堵，适当为各从站分配延时时间)，等待主站回复命令，再次进入串口中断获得数据，比对命令。若为0x00+ID+0x01则回复温度、光照信息；若为0x00+ID+0x02则进入转发模式，本站成为“伪主站”，仿照主站与从站协议通信，将获得数据打包为“本站数据+所转站ID+所转站数据”发送，通信完成。

华山论剑之走进赛场

经历了几个不眠之夜（要注意适当休息，身体是革命的本钱），终于要上战场了。这个时候小组成员的心态往往是比较复杂的，题目指标完成得比较好的小组更关心的是答辩环节的发挥；题目指标实现得不理想的小组此刻可能还在红着双眼拼命赶工。无论是哪种情况，在比赛还没有结束之前，一切皆有可能。这里笔者想给大家几条建议。

首先，最重要的一点是进入赛场前，仔细检查比赛所需的材料和作品是否完备，可能用到的工具也需准备。另外，比赛作品中如果有些易损器件，一定要准备好备用器件！

其次，调整好心态。电子设计比赛每一道题目的难易程度不一样，你并不知道自己小组实现的指标在整体参赛队伍中处于一个什么水平，所以心态一定要平和，将小组所选题目要求的功能完整地在赛场上实现，你就算成功了！

另外一点，赛场调试阶段不要盲目改动作品。因为这时候小组成员的心态都比较焦急，更容易出现意外的失误，导致前功尽弃。

虽然电子设计竞赛是量化评分，但好的答辩效果能够给团队增色不少。在比赛答辩阶段，笔者也总结了几个小技巧与大家共享：

1. 小组成员里要有一个主答辩手，负责答辩的主体流程，其余两位成员在适当的时候稍作补充，千万不要你一句、我一句，会给评委留下缺乏条理的印象。

2. 心中要有量化评分的概念，答辩的时候应该思路清晰，评委会根据评分点来提问，回答的时候做到准确、简明。

3. 答辩过程中，对于题目中实现得比较好的指标，可以重点阐述实现方法。

4. 作品演示的过程要格外小心，不要因为紧张出现一些低级错误，演示过程最好按照专家评委的评分流程来进行。

运筹帷幄之总结归纳

我们用了尽可能分立的模拟电路来搭建系统，通过这种方式加深了对模拟电路的理解，而且模拟电路的调试及设计确实存在诸多挑战。软件方面，我们利用了传统51通用处理器和C语言编程，实现了类似于Zigbee的高层网络协议，具有一定的创新性。不仅满足题目要求，而且方便拓展应用于更多子站，进行自组网。数据通信准确，充分利用了硬件资源，效率高。系统的通用性得到提高，降低了成本，性价比突出。

比赛重在参与，其实在比赛过程中，所有人都会收获很多，保持一颗平常心，付出最大的努力去做好，天道酬勤，汗水会为每个人加分。最后，祝愿每一个参加电子设计竞赛的读者都能够有一份收获！

NUEDC的过去式

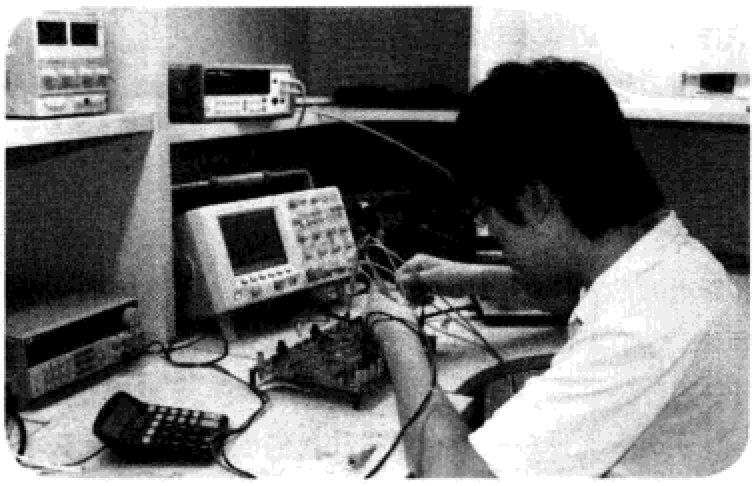
◎王丰硕

我开始摆弄电子元件是18年前的事情，我在全国大学生电子设计大赛（NUEDC）获奖是6年前的事情，我毕业是5年前的事情。和很多电子爱好者一样，我小的时候就喜欢摆弄电子元件，对这些东西有特殊的好感和耐心，只要完成功课，我就开始折腾我的电路板，捣鼓我的几只三极管、几片IC，我不喜欢溜旱冰，不迷恋电视，也不沉迷电玩，电路板才是我的游戏机。据说SONY的创始人盛田昭夫和苹果的CEO乔布斯小时候都有这样的经历，呵呵。

大约是12岁的时候，我用3DG6这个现在很多年轻的爱好者都不认识的三极管和总共不超过10个零件，配合自己笨拙的焊工技术和美工刀雕刻的电路板，做成了一个FM调频话筒。我的声音可以变成电波在50m内被我家的三洋收音机收到，这是我的第一个作品。

我16岁的时候，是Walkman盛行的时代。如果你手上有台SONY或者AIAW的超薄Walkman，那绝对是个拉风的设备。和爸爸在一个部队的无线电教官朋友来到我家，看到我的作品后大力表扬了我，后来还送了我一只“运放之皇”NE5532和一堆包着厚厚铁壳的军用零件。这些宝贝被我拿来做了一台巨型的Walkman，大约A4纸的大小。看着穿着装甲的零件听我指挥，仔细地处理信号，看着巨大的惯性飞轮稳定地旋转，一种成就感油然而生。同学们显然很好奇我的装备，在一番残酷的AB对比后，我的Walkman以音质胜出，我发现了Hi-Fi的乐趣。

选择专业的时候，很多人纠结于不同专业的前程，我很自然地选择了电子工程专业。读大学的时候，无论我努力不努力，成绩都很一般：我坦然我应试能力很差，也不可能综合考评成优等生。到了大二以后，时间充裕起来，压抑已久的电子热情，就蠢蠢欲动了。刚好碰上了开始倡导素质教育的时代，我向院领导“显摆”了我以前捣鼓的电子作品，德高望重的严老师做了我导师，他把学校电子实验中心创新实验室的钥匙放在了我的手上，我成为了创新实验室主任。主任的头衔没有薪水，不过可以让我不受时间的制约，在里面做自己想做的事情。实验室里有最先进的安捷伦数字存储示波器、HP的精密LCR电桥，相比那些基础实验室里20M带宽的模拟示波器和MF500型万用表，这里真的是我的“天堂”！学校还提供了基金，如果有合适的项目，通过考核就可以申请。我提出来的“电流模音频功率放大器”项目，几经周折，得到批准。于是，所有课余时间，我都在这里忙碌起来了。整个假期，团队的同学都在实验室挥汗如雨，遇到了无数次的困难和失败。严老师曾经是723所的顶尖工程师，他的睿智和鼓励让我们一次又一次走近成功。


我在实验室

这个“电流模音频功率放大器”项目耗时大约1年半，最终以发表2篇国家核心期刊论文和获得2项国家专利的成果华丽结束，给我了信心。面对马上要到来的全国大学生电子设计大赛（NUEDC），老师鼓励我参加。几个月的准备后，我们迎来了2005年的NUEDC。

选择题目的时候，我们选择了其中一道射频方向的题目。题目的大致要求是要做一套通信系统，1个主机、8个从机。主机可以任意呼叫从机进行语音通信，可以和从机之间收发英文短信，发射频率要求在30～50MHz。在保证可靠通信的情况下，发射距离越远，得分越高。3天时间，3个人完成。

我们团队的3个成员，一个是模拟电路的高手，一个是编程高手，另外一个同学专门写报告、记录数据、总结。我们希望用最简洁的方式来完成这个比赛项目，这样分工，能以最短的设计周期来应对只有3天紧张的时间，可以在同样性能的前提下实现最低的BOM成本。分析了一下题目，我们认为传输语音用FM方式比较好，稳定可靠。传输数据的话，可以使用FSK（Frequency-shift keying）频移键控技术来实现。同样使用传输语音的信道，用最大正频偏来表示0，最大负频偏来表示1，在主机和从机端编码、译码就可以。这样，在发射端用3个晶体管加一个单片机就完成了所有动作，真可谓极简设计。三天时间，前两天大家都在奋力准备自己的组件，第3天联调，顺利完成了课题。

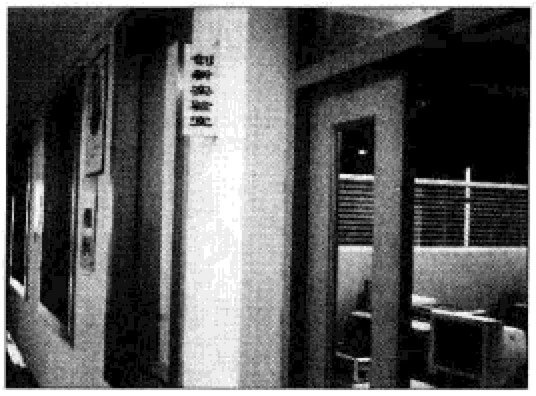
当时团队配合的十分默契，我到现在依然记忆犹新。如果平时没有配合，没有长时间的积累，这是不可能完成的。

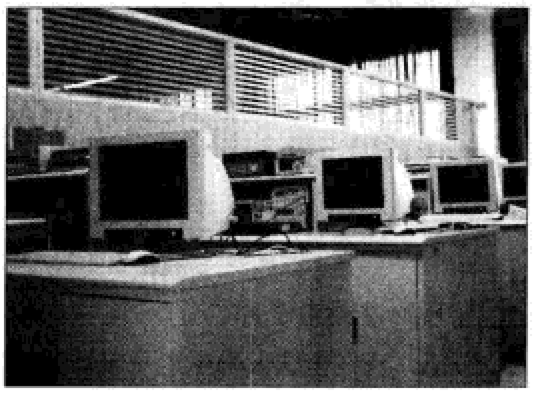
项目的评定和答辩在东南大学举行，等待的感觉是焦灼的。我们在礼堂外面等了2个小时，终于被叫进去演示我们的作品。一切基本功能没有问题，开始拉距离。我们从礼堂的正前门到礼堂的后门，声音依然清晰，短信依然无误。我和评审的老师打开礼堂的后门，继续拉距离。外面的同学惊呼："这个队都跑出来拉距离啦！"又拉了50m距离，评审的老师说："可以了，不用再拉了，已经满分了……"。

另外一个队的性能也做得和我们一样棒，他们是用DSP+专用射频芯片实现的，很多独立的 DSP模块插在母板上，看起来真的很雄伟。不过，站在系统设计的角度上，这是个炫技的设计。DSP固然很强大，但是如果8位的MCU可以完成，几只通用晶体管可以完成，为什么要用DSP？评审的老师认为，如果性能没区别，就应该把奖留给设计感更强的团队，最后我们得分高过他们一点点。

如同大家预料的一样，在找工作的时候，有一个大奖证书似乎会容易很多。不过，来招聘的公司（特别是欧美公司）不只会被你的大奖迷住，他们会非常认真详细地考察你的知识。如果你真的仔细做过、研究过、感悟过，他们会发现你这块金子的。记得我签约工作前，和面试我的技术考官沟通了1个半小时。如果知识不是自己的，我想他肯定会看出来的。最后，我和这家美国的集成电路设计公司签约，薪水是全班最高的。

技术只是一方面。太多的工程师过分沉醉在自己的技术世界里，现代的社会真的不在乎这样的人，特别是欧美的IT公司，非常在乎协作和沟通能力。拿到NUEDC的大奖，技术过硬当然是必须的。不用怀疑，参赛的其他同学也都是技术精英级别的。如果要想去超越别的团队，没有致密的合作，是不可能的。一个人不可能去拿到NUEDC的大奖，一个人不可能开创一番事业，一个人到最后只会感到孤独。在职场中，一个人不是英雄，一个团队才可能造就真正的成功。全世界都在为苹果疯狂，全世界有无数乔布斯的粉丝，可是你别忘了，乔布斯身后的技术天才沃兹——从苹果1到现在，沃兹代表了苹果的核心设计力量。你也许更迷恋乔布斯Think different的概念，孤傲偏执的个性，但是你不能忘记，乔布斯曾经被苹果的董事会赶走过，是谁一定要乔布斯回来？一定要乔布斯做CEO，来统帅苹果，才有今天的业绩？如果这个人不给乔布斯机会，如果他身后缺乏一个顶级团队，乔布斯也许早就被人遗忘了，苹果也被世界遗忘了。我毕业后先后在两家美资公司工作，深深地体会到了这些，感受到了团队合作的力量，如果你虽然是技术狂人，但是不懂得合作，最后你只有OUT的结果。


创新实验室


当年参加NUEDC的实验室

设计师的设计感体现在对架构的理解和对元件的理解。架构是阵，元件是兵马。如果设计者对系统结构的理解不够，对器件的感悟不到位，最后阵无形，滥用兵马，这样肯定打不了胜仗。比如，让我这样的"笨人"去焊接BGA零件，100块钱一个引脚，我只好友善地耸耸肩，告诉你：这个钱我挣不了。

所有的工程师设计一个产品的时候，应该尽量向产品靠近，而不是把它当一个作品设计。如果是一个作品，如果是DIY行为，没关系，设计者孤芳自赏都可以。但是，设计产品就必须考虑经济效益和社会效益，产品都有成本控制的需求，清楚系统的目的和需求，做应该做的，舍弃无知无用的设计。

我看到有人给DSP的电源退耦引脚焊上了一堆昂贵的红色插件WIMA MKP电容！如果这颗DSP会说话，他肯定说："谢谢你这么好心给我用上MKP电容，不过我受不起……还是麻烦给我用上Murata（村田）的MLCC（多层陶瓷电容器）电容，我更舒服一点。"回到NUEDC的项目，我们用8位的MCU和晶体管可以完成的比赛，别人用DSP来完成。如果都做成产品，同样的性能，我们的小巧便宜很多，故障率更低，我相信我们的产品一定好卖。苹果（对，又要说起苹果）的Mac Air的单纯计算机性能没有人觉得有什么登峰造极的，但是它那么精简的设计，那么优雅的身材，瞬间就俘获了消费者的心，这就够了，这是性能和设计的完美平衡。

对我来说，虽然NUEDC已经是过去式，但是它是一次完美的综合实力的挑战，它给我的经验一直影响着我的职业生涯：要深入研究技术，但不要沉醉在自我的技术世界，要充分懂得合作和分享，团队协作才是事业成功的基本要素，要把设计思维、导向与市场、销售、经济效益联系起来，不要只把产品设计成作品。只有你的设计具备经济效益和社会效益，公司才可能有收益，你的才能才会被承认，你才会获得更多尊重。

RENESAS 瑞萨

瑞萨电子竞赛专访

◎受访人：于涛　瑞萨电子（中国）有限公司MCU产品中心应用技术部统括经理

针对2011年的竞赛，瑞萨为大学提供了哪些MCU开发板？

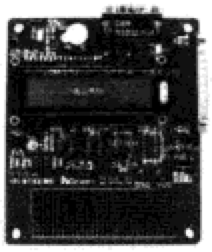
A 今年的大学生电子设计大赛是瑞萨电子成立后首次赞助大赛，新公司成立后，MCU的产品线非常丰富，本次我们挑选了基于78F1166、R8C/1B、78F0513的几款MCU开发板，通过不同的途径提供给同学们，也希望同学们能够使用基于瑞萨的MCU开发板设计出好的作品。

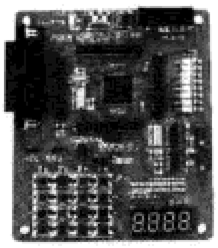
这些开发板有哪些特点？

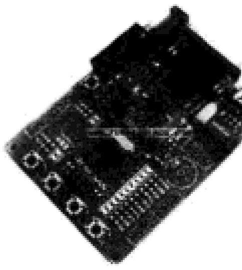
A 78F1166是瑞萨电子的16位MCU，这个开发板的资源规模是这几款板子中最大的。因为它采用了主板和扩展板双板分离设计，能实现在线仿真机编程，具备数码管及LCD显示模块、RS232/485通信接口、蜂鸣器、12位AD和DA转换、红外发送接收模块、温度传感器、EEPROM和4×4的矩阵。无论是平时的教学实验，还是竞赛，这个板子都很合适。上届竞赛，我们也向一些同学发放了这个开发板，反响很好。有同学还用这个板子完成相关作品，并获得了全国一等奖。

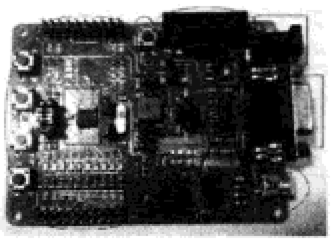
R8C/1B也是瑞萨电子的16位MCU，这个板子除了MCU周边必备的一些资源外，主要集成了一个RF模块，比较适合进行与无线通信相关的实验。

78F0513是瑞萨电子的8位MCU，这是一个MCU最小开发板，MCU芯片所有引脚都通过双排插针引出，方便扩展。









瑞萨电子的MCU产品有什么优势？

A 瑞萨电子是由原来的NEC电子和瑞萨科技两个公司合并而来，从MCU产品上讲可以说是强强联合。瑞萨电子的MCU产品线非常丰富，目前为止有1000多个型号，针对不同应用需求，有不同资源及性能的产品对应。除了通用产品外，还集成了LCD控制、电机控制、照明控制、USB、CAN总线、IO—link、以太网、RF等功能。

我们的MCU产品内核从4位到32位全部涵盖，同时具备高效、低噪声、低功耗、处理性能高等特点。MCU集成了无需谐振器的高速内部振荡器、减少了外置元件的上电复位电路和低电压检测电路，有助于实现低成本和安全性。提供仅内置flash ROM的产品和低成本开发工具，从而实现了开发时间缩短和系统总成本的降低。

对于使用瑞萨MCU参加竞赛的同学们，有什么建议？

A 瑞萨电子的MCU产品有着国际领先的市场占有率，如果同学们在学校就掌握瑞萨电子MCU的应用，对于将来走向社会，无疑会提高竞争力。

瑞萨电子也会持续地支持大学教育。为了鼓励采用瑞萨MCU参加本次竞赛的同学，我们会有奖品发放，对于取得好成绩的同学我们还会提供特别奖。

同学们如何购买瑞萨电子MCU？

A 需要购买瑞萨电子产品，可以联系我们的代理商http://cn.renesas.com/buy/。另外，我们针对学校教学应用，购买数量少和种类多的特点，开设了网上购物通道，可以直接通过网上下单购买，具体可访问http://cn.renesas.com/。此外，还可访问该网站获得技术支持。

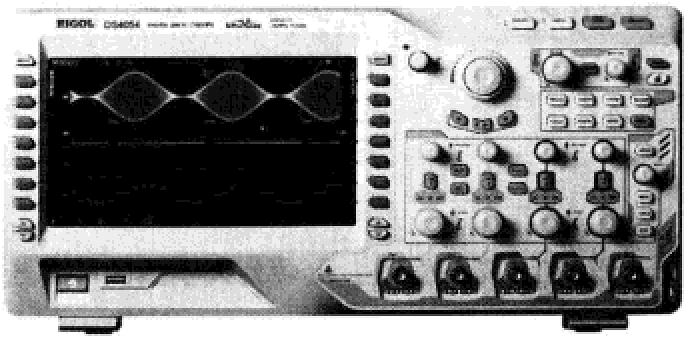
瑞萨倡导的绿色理念具体指什么？

A 绿色理念包括节能、环保、智能。瑞萨电子一直都在倡导基于MCU的创新应用，构建未来绿色社会。绿色包括3个层次，最底层是绿色器件，瑞萨电子可以提供低功耗、高性能和采用环保工艺生产的MCU产品。中间一层，我们的MCU全面支持绿色系统应用，比如节能、储能、能效改善、环保、智能等创新应用，瑞萨电子不但提供有合适的芯片，也有适合的解决方案提供。第三个层次就是通过智能互联，实现整个绿色社会的构成。

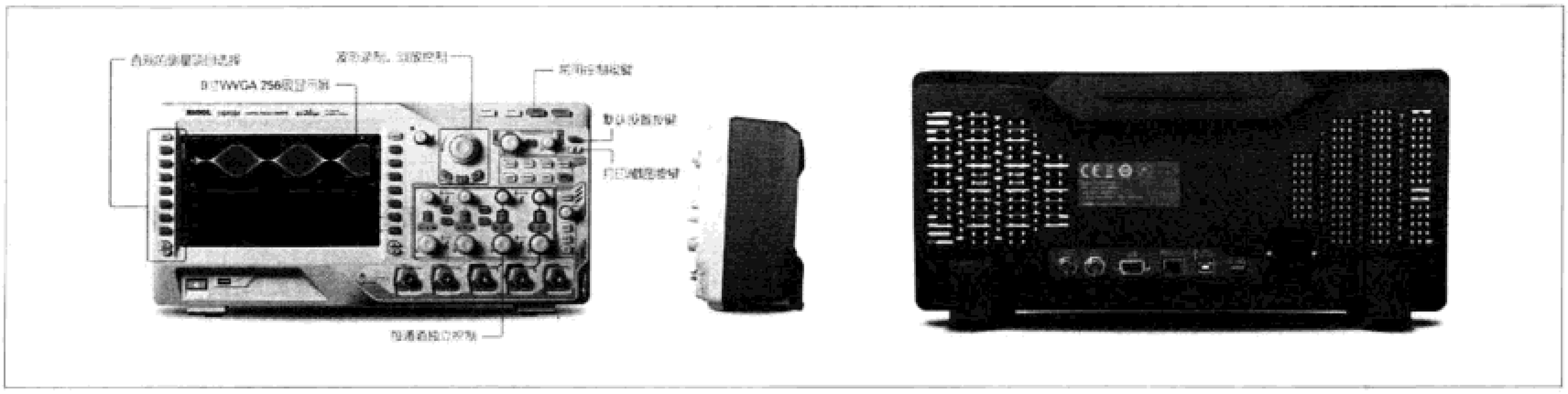
瑞萨电子对于学校教育还有哪些后续支持？

A 瑞萨电子非常重视大学教育。作为世界第一大MCU供应商和高级半导体解决方案供应商，瑞萨电子非常愿意提供先进的器件来支持大学教学及竞赛活动。瑞萨的产品也在与时俱进地不断更新，比如瑞萨电子MCU最新发布了两个新的MCU内核——RX和RL78，性能得到进一步提高，同时功耗及成本也在降低，具有超强的竞争力，尤其是在超强处理能力和超低功耗方面的性能。我们也会基于这些产品，设计面向大学教育的开发板，把世界先进的产品带给同学们分享。

RIGOL推出DS4000系列主流数字示波器



2011年9月22日，北京普源精电科技有限公司（RIGOL）在北京总部召开了规模盛大的产品发布会，隆重推出DS4000系列数字示波器。这款产品是RIGOL经过多年耕耘，在主流示波器领域的创新力作。



RIGOL DS4000系列数字示波器

RIGOL DS4000系列数字示波器采用了RIGOL独创的UltraVision技术，可实现深存储、高波形捕获率、实时波形录制及回放、多级灰度显示等功能。DS4000系列配置500MHz/350MHz/200MHz/100MHz四个级别带宽，实时采样率高达4GSa/s，分别提供2通道和4通道共8个型号，标配存储深度达140Mpts，波形捕获率达每秒 110000 个波形，硬件实时波形不间断录制和波形分析功能支持录制高达20万个波形，多达256级的灰度显示等。DS4000拥有丰富的触发和总线解码功能，拥有边沿触发、脉宽触发、斜率触发、视频触发、码型触发、RS232/UART触发、I^2C触发、SPI触发、USB触发、CAN触发和FlexRay触发，并支持多种串行总线的触发和解码。DS4000系列具有低底噪声，最小垂直挡位达1mV/div。

DG4000系列双通道函数/任意波形发生器

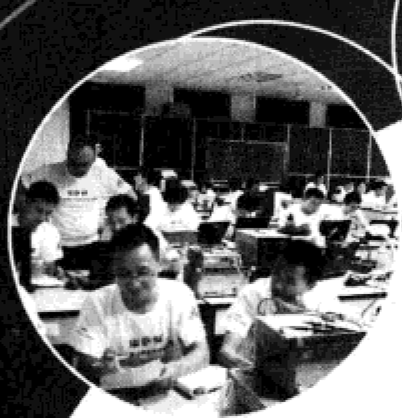
在产品外型上，DS4000采用不对称设计理念，外观时尚，造型新颖，它还拥有9英寸WVGA屏幕，显示界面宽大，清晰明亮，很方便观察各种波形。

RIGOL DS4000系列数字示波器采用了当今许多先进技术和工艺，整体性能达到了国际先进水平，它的性能指标均属于市场主流范围，可满足通信、半导体、计算机、航空航天国防、仪器仪表、工业电子、消费电子、汽车电子、现场维修、研发/教育等众多领域的通用设计、调试、测试的需求。

这次推出的DS4000系列数字示波器是RIGOL计划推出的“四大金刚”之一。8月份RIGOL就推出了“四大金刚”之DG4000系列双通道函数/任意波形发生器。该系列波形发生器最高可输出160MHz正弦波，具有500MSa/s采样率、14bits垂直分辨率，具有功能对等的双通道，高达150种内建波形，还提供了3FSK和QPSK等多种调制方式，所有的调制方式（AM、FM、PM、ASK、FSK、PSK、BPSK、QPSK、3FSK、4FSK、OSK、PWM）均支持内部和外部调制源。其所有型号均标配频率高达200MHz、分辨率达7digits/s的频率计，可以输出16次谐波，真实模拟谐波信号，并且两个通道均能输出，互不干扰。该产品集函数发生器、任意波形发生器、脉冲发生器和谐波发生器功能于一身。

RIGOL“四大金刚”已经有两位浮出水面，另外两位“金刚”是怎样的面貌，我们拭目以待。

瑞萨杯2011全国大学生电子设计竞赛成功举办



由瑞萨电子独家冠名赞助的瑞萨杯2011全国大学生电子设计竞赛于2011年8月31日上午8点同时在全国30个赛区正式开赛，并于9月3日晚上8点正式结束。全国1042所院校、11002支队伍、33006名学生通过了为期4天的角逐，争夺一等奖、二等奖以及本年度的最高荣誉奖“瑞萨杯”奖。

全国大学生电子设计竞赛是教育部倡导的重要的大学生学科竞赛之一，由教育部高等教育司和工业和信息化部人教司共同主办，目的在于推动高等学校促进信息与电子类学科课程体系和课程内容的改革，培养大学生的实践创新意识与基本能力、团队协作的人文精神和理论联系实际的学风，为优秀人才的脱颖而出创造条件。全国大学生电子设计竞赛为高校电子信息技术交流提供了一个宝贵的平台，为中国电子信息产业源源不断输送人才，得到了社会的广泛好评。

自1994年启动以来，竞赛已走过17年的历程，今年是本赛事的第10届，目前已经成为中国电子信息类学科竞赛中持续时间最长、竞赛规模最大、颇具影响力的大学生学科竞赛活动。此次大赛较之上届参赛人数增加了21%，参赛学校增加了11%，报名参赛的省(市、自治区)达30个，在规模上创历届之最。

据全国大学生电子设计竞赛组委会秘书长、北京理工大学副校长赵显利教授介绍，2011年竞赛在原有的命题、评选规则的基础上，为进一步维护竞赛的公正性和公平性，特做出两项改革：（1）凡是推荐参加全国一等奖、二等奖评奖的各赛区优秀代表队，全部要进行综合测评。（2）全国专家组对于推荐参加全国奖项的各代表队评审时，要增加第二次竞赛环节。第二次竞赛环节与第一次评审结果同时考虑，最终评出全国一等奖和二等奖。

各赛区的众多参赛高校积极响应教育改革，把竞赛培训纳入学生课外科技活动计划或课程体系中，鼓励学生提高动手能力。参赛学生们也放弃假期，留校参加紧张的赛前辅导。很多参加过大赛的学生们认为，虽然暑期奋战条件比较艰苦，但通过自己的努力一次次战胜困难、一点点积累经验、一步步得到提高，再苦再累也非常值得。

本刊记者有幸参加了本次大赛设于北京理工大学的开赛仪式，并跟随大赛组委会成员进行了北京理工大学竞赛现场的巡视。

我刊在大赛之前，邀请了几位参赛的同学在赛后为我们介绍一下他们比赛的经历。从本期开始，我们会在杂志上陆续刊登他们的文章，希望读者通过这些文章能对本次大赛有一个更全面的了解，并为今后的电子技术学习与实践提供一点帮助。

奋战2011全国大学生电子设计竞赛

◎赖程鹏

两年一次的全国大学生电子设计竞赛，大多数本科生也就只有一次参赛的机会。作为华北电力大学电子专业的一名学生，我有幸参加了今年的竞赛，并已经获悉取得了北京赛区一等奖的成绩，参赛作品正参加全国奖项的评选。如此珍贵的四天三夜时间锻炼了我们的能力，也磨砺了我们的意志，特将我的竞赛体验简要整理成文，与读者分享。

一 选题

2011年8月31日7：50，北京市教育委员会网站最先发布题目。我们下载题目之后，3个队员便围在一台计算机周围，逐字阅读每道题目。

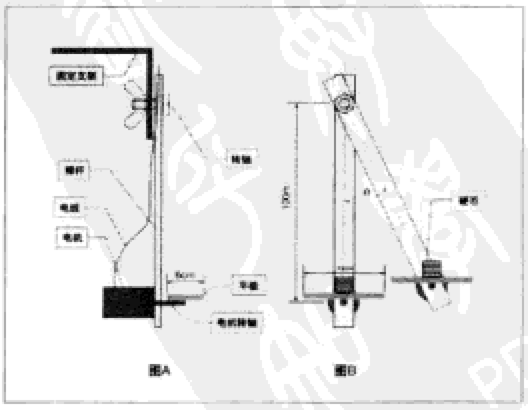
首先我们排除E题，主要是我们对这个项目不太了解，涉及许多信号分析处理的知识，我们3个组员之中没有特别擅长这些的。其次，我们排除了D题，因为在暑假准备期间，我们曾经做过一个高频的题，调试了好多天都没有成功，深刻体会到高频电路的难度。至于电源的A题，以前在网上查过两片7805并联输出的用法，若是两者输出电压不一致，很容易烧坏芯片，所以难度也很大，排除之。最后剩下两道控制类的题目B题与C题。C题要实现控制相对简单，但是需要较多的传感器，当两辆小车联合调试的时候也比较麻烦，另外当时手头上现成的小车只有一辆。至于B题，所有需要的材料之前正好都有准备，由于我们学校旁边就有一个城北市场，可以比较方便地去加工支架等机械部分，所以我们选择了B题。

本科组竞赛题目

A 开关电源模块并联供电系统
B 基于自由摆平板控制系统
C 智能小车
D LC谐振放大器
E 简易数字信号传输性能分析仪

二 方案确定

B题要求设计并制作一个自由摆上的平板控制系统，其结构如图A所示。摆杆的一端通过转轴固定在一个支架上，另一端固定安装一台电机，平板固定在电机转轴上，当摆杆如图B摆动时，驱动电机可以控制平板转动。



1. 传感器的选择

B题的整个系统中，最重要的部件是角度传感器与控制平板的电机。角度传感器有两种选择，一个是加速度传感器，另一个是角位移传感器。在暑假培训的时候，我们曾经用加速度传感器去做“电动车跷跷板”那个题目。当时调试得并不成功，加速度模块的输出很不稳定，且容易受到振动的影响。但是角位移传感器完全是机械的装置，相当于一个转起来很轻的电位器，振动对其影

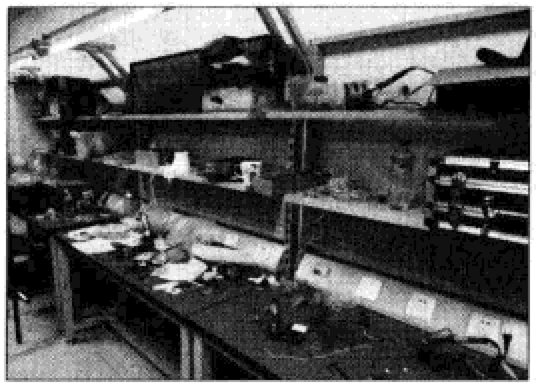
响也比较小。所以，经过讨论之后我们选择了角位移传感器。

2. 电机的选择

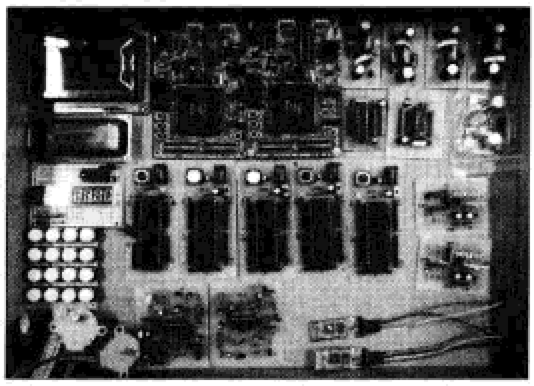
电机部分我们组员一致决定使用步进电机。考虑到基本要求的第一部分，电机控制平板要在自由摆一个周期以内旋转一周，即在2s左右时间内旋转一周，若采用带减速比的步进电机恐怕速度上达不到要求，所以我们决定使用不带减速比的步进电机，电机最小步进角为0.9°。

三 分工合作

我们3个组员经过一个暑假的训练，在个人能力以及合作默契上都有了很大提高。我在队伍里主要负责编程以及单片机的调试，另一个组员邵李强负责硬件制作，包括机械部分以及电路的焊接，还有一位组员张潇龑主要负责撰写设计报告以及理论部分的计算分析。



比赛中一片狼藉的焊接台



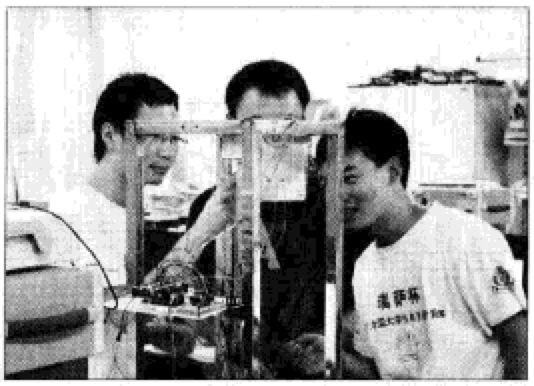
我们比赛前准备的模块电路

四 制作与调试

8月31日上午10点，我们确定方案之后，开始分工合作。另外两名组员一起去城北市场制作支架，我在实验室调试步进电机与角位移传感器，将一些驱动程序完成并且完善。下午1点左右，架子制作完成，回到实验室之后，我们一起安装摆杆。安装摆杆与架子相连的轴承部分比较麻烦，直到晚饭时间，摆杆才安装完成。草草吃过外卖的晚餐，我们继续安装角度传感器。至于电路部分，由于比赛之前我们准备得比较充分，电源模块、DC-DC稳压模块、L298N步进电机驱动模块、1602LCD显示模块等都有准备，因此组装上就能使用。直到晚上12点左右，整个硬件部分就搭建完成了。我们讨论决定，回宿舍睡觉，第一天不熬夜。

9月1日，7点左右我们到实验室开始“干活”。主要由我编写程序，上午10点左右便完成基本部分的第一个要求。下午三、四点钟的时候实现了硬币不掉的要求。晚上便把激光定点与激光动态定点的程序完成了，但是精度上还远远没有达到题目的要求，只能说功能上完成，性能上还远远不够。经过不断修改、完善算法与程序，精度上还是没能达到题目要求。而且我发现角位移传感器输出的数据并不稳定，系统的精度可能受其限制。经讨论后，我们决定再做一套自由摆装置，换一个角位移传感器。为保证第三天的工作质量，第二天我们也没有熬夜。

9月2日，我跟张潇龑去买角位移传感器，邵李强再去制作一个支架，吸取上一次的经验，这次支架与摆杆之间的轴承部分做得相当稳定。下午1点买回角位移传感器，晚上7点左右，第二套自由摆装置完成。我立即将第一套自由摆的程序移植到新的硬件上。经调试后，效果有了很大改善。这个晚上通宵调试，直到最终的效果能基本符合题意。最后的系统的精度基本上只受限于步进电机0.9°的步进角，步进电机转动0.9°的时候，激光在靶上移动的距离已经超过2cm，因此对系统的精度影响非常大。



小组的成员在调试系统

我们组完成的比赛作品

9月3日，上午继续完善调试，下午的时候困得受不了，就睡了两个小时。紧接着完成设计报告，打印设计报告，将设计的系统装箱。

至此，四天三夜的奋斗结束。希望我们的竞赛经历能为今后参加比赛的同学提供一点帮助和启发。

亲历2011上海国际无线电展
创意电子嘉年华

◎张峥（BG8SF）

编者按：

9月3日，我刊在上海国际无线电展上举办了首次“创意电子嘉年华”活动。经过之前两个多月时间的筹备，我们从全国的电子DIY爱好者中征集了近60件DIY作品，其中有在杂志上连续介绍过的PVC-Robot系列机器昆虫，有众多火腿关注的天线分析仪及Elecraft K2收发信机，还有蝴蝶结变声器、VFD指针式电子钟、CUBE8光立方等一系列极具创意的电子DIY作品。现场我们还举办了各具特色的讲座、机器人表演和收音机焊接制作活动，活动形式新颖，内容丰富，现场气氛热烈，得到了参观者的一致好评。

在国外，每年都会有很多大型的创意DIY作品展示活动，大量的爱好者在这些活动中相互交流、学习，分享制作的乐趣，这些活动也让爱好者个人的作品走到了大众的前面，不仅带给大家关于创新的思考和启发，更能通过展示，使创意变为创造。国外很多倡导创新、支持创意的大公司，如Google等，还专门通过一定的方式参与到这些DIY作品展示活动来，支持活动的持续举办。

在此，我们也向支持本次创意电子嘉年华活动的所有DIY作品设计者、讲座主讲者、现场志愿者及所有光临活动现场的爱好者表示衷心的感谢。今后，我刊还会在全国各地继续推动“创意电子嘉年华”等活动的开展，让DIY创意从幕后走到台前，为爱好者搭建起互动交流的平台，与大家一起分享DIY作品带来的乐趣。

“嘉年华”是英文单词Carnival的中文译音，它来源于《圣经》中的一个故事，是指人们在坚守某个特定清规戒律的斋期开始前的一周或半周前专门举行的宴会、舞会、游行。现代的“嘉年华”已经可以算作一个节日，让人们在热闹气氛中分享乐趣！

2011年9月上海国际无线电展会期间，《无线电》杂志社主办的“创意电子嘉年华”让参会的爱好者们品尝了一次DIY电子作品的饕餮盛宴，笔者有幸全程经历。

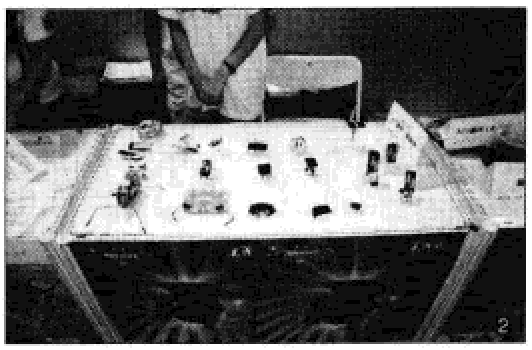
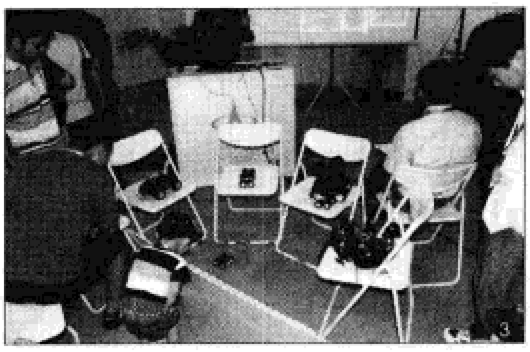
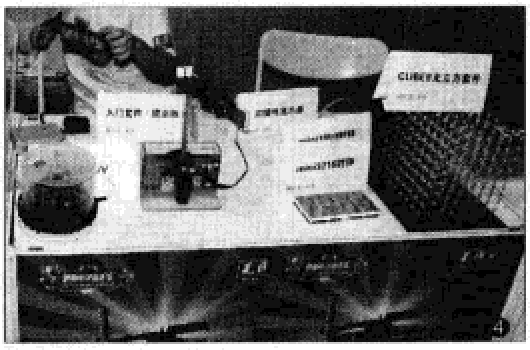
嘉年华的菜单

9月3日《无线电》创意嘉年华的举行时间是个周六，平日的上班族这时正好有时间来参与。嘉年华内容主要分为四部分：一是创意电子产品展示，现场展示了杂志社从全国各地爱好者中征集来的或是杂志曾经介绍过的部分电子DIY作品；二是主题讲座，杂志社邀请了RoboPeak团队、上海龙凡汇众机器人团队及国内在无线电套件制作及APRS技术应用方面有名的火腿BD6CR/4（荣新华先生）进行了三场精彩讲座；三是机器人的现场演示，有趣的机器人抓球演示、生动的六足机器人追逐展示；四是DIY套件的现场组装。

嘉年华菜单早几周就在无线电网站上公布了，现场免费派发的《2011上海国际无线电展观展指南》中也有介绍。很多爱好者按图索骥、如约而至，也有很多之前并不了解活动内容、在其他展位参观的爱好者被现场的热闹气氛吸引过来，加入到这场电子制作的狂欢派对中。

DIY作品展示

创意电子嘉年华的重要内容都是围绕DIY作品展开。笔者悉心数了一下，这次带到现场的DIY作品有58个，不少是《无线电》杂志近年来介绍过的新奇制作。例如，能够实现3维显示功能的LED光立方、利用视觉暂留原理制作的旋转POV显示器、利用电脑软件配合完成音频定量测量的套件等。一些充分体现创意的小制作也在现场展示中得到了很多人的欢迎，比如太阳能陀螺、爬虫机器人、“光能比目鱼”、“疯狂的小强”、太阳能风铃、可用手机蓝牙功能控制的机器小车等。国内业余无线电圈子里比较有名的作品，如天线分析仪、KN10收发信机套件、Elecraft K2套件、PAND1 PRO手持短波收发信机、“大红点”驻波表、2维卫星天线旋转器、重型八木天线旋转器等也在展会上亮相了。

❶实用性与创意兼备的DIY作品
❷小巧可爱的机器昆虫，其中PVC-Robot全家族一起亮相
❸现场展示的多款Ardunio控制的小车
☒流光溢彩的时钟显示套件
❺众多火腿对业余无线电的DIY作品兴趣浓厚

好多作品原来只在杂志上见过，这次展会见到真家伙了，感觉既熟悉又陌生。熟悉是因为在杂志上看过介绍的文章及图片，陌生是身临其境看到实物，比杂志上的图文介绍更真切许多。这些DIY作品，在一定程度上代表着国内电子爱好者业余制作的水平，同时也预示了国内DIY作品从传统注重实用性向兼顾娱乐性、创新型转变的趋势。

嘉年华DIY作品展示区的参观人流络绎不绝。参加无线电展会的观众们除了看到大厂商的无线电成品设备外，又看到了这些充满创意的小制作，确实能够在对比中切身体会到电子制作的乐趣所在。

机器人表演

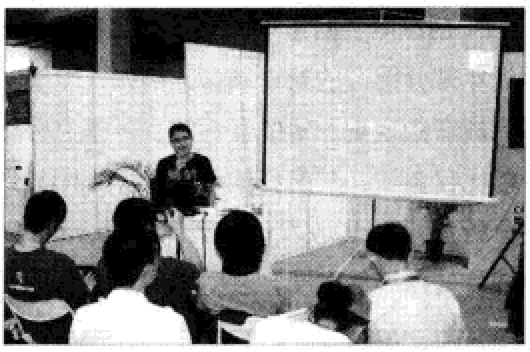
上海龙凡汇众带来了他们在Arduino平台上开发的六足机器人。每只脚3个舵机驱动，一共18个舵机，让机器人模仿真正的蜘蛛在地上爬动。机器人身上搭载的摄像头分别由2个舵机控制3维转动，可以追踪发光的小车爬动。一辆顶部发出强光的小车依据操作员的控制指令围绕场地任意行进。六足机器人在程序的控制下自动寻找光源位置，并迅速爬向光源所在位置。

北京机器时代带来了两个巨钳机器人，在操作员的控制下2轮驱动的巨钳机器人行动迅速，前部的铁钳自如伸缩，现场的两个巨钳机器人进行了抓取乒乓球的演示。

另外，还有一只4轮驱动的搭载4自由度机械臂的机器人在现场表演，机械臂顶端安装有摄像头可以跟踪特定光源，也可以拾取拍摄图像传回给控制员。

与讲座相比，围观机器人表演的观众人数更多，显然触手可及的直观演示比听理论讲解更有吸引力。

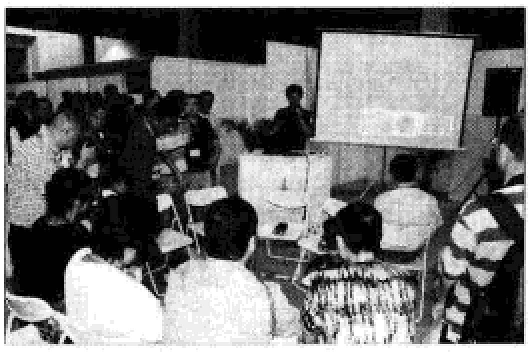
论坛讲座



嘉年华活动设置了论坛讲座环节，邀请各路高手专家前来与大家切磋交流。其中两场讲座涉及到了机器人的话题。

第一讲是上海RoboPeak机器人团队的黄珏珅先生介绍了他们对于未来机器人的理解，为听众展望了未来机器人的发展方向，并介绍了机器人制作方面的前沿研究项目。2009年底创建的RoboPeak团队是国内由一群软件工程师、电子工程师、新媒体艺术家所组成的机器人及相关技术领域的设计研发团队，致力于民用机器人平台系统、机器人操作系统(ROS)以及相关设备的设计研发，他们正尝试将日新月异的机器人技术融入人们的日常生活与娱乐当中。

第二讲由专业机器人提供商龙凡汇众的专业玩家讲解通用的Arduino系统以及利用Arduino平台开发的趣味制作。Arduino是一个开放的硬件平台，包括一个简单易用的I/O电路板以及相应的软件开发环境。如果将Arduino与大家熟知的51单片机开发系统放在一起来对比理解，就如同计算机系统中Linux系统与Windows系统的对比。Arduino可以被用来开发能够独立运行并具备一定互动性的电子作品，也可以被用来开发与PC相连接的外围装置。目前较广泛地应用于欧美、日本等国家的电子设计及互动艺术设计领域。据了解，在国外使用Arduino的用户，不仅是电子或者计算机相关专业的爱好者，其他行业的人员也在广泛使用，例如：媒体艺术者用来作出根据自己的想法可控灯光效果或者媒体互动的作品、园艺设计人员使用Arduino开发自己的智能浇灌系统、模型爱好者用在自己的无人飞机及其模型车上、无线电爱好者使用Arduino组成全自动莫尔斯电码解调器等。



第三场讲座再次聚焦到无线电展会的主题，由上海的资深业余无线电爱好者荣新华（BD6CR/4）分析了中外业余无线电套件的区别，并介绍有关 APRS 方面的制作问题。国内还没有太多人知道什么是 APRS 时，BD6CR 已经开始研究并在业余无线电频率上发送 APRS 数据包。真是无法想象，在那个一无国内参考资料、二无配合实验的本地爱好者的年代，他居然能独自研究清楚了 APRS 的工作原理，并真正开始了长期的实践探索。BD6CR 成了中国业余无线电 APRS 的首批倡导和推广人，在国内点燃了 ARPS 的燎原星火。

现场制作活动

几乎每一个爱好者都是从制作收音机开始被无线电深深吸引而不断学习研究。《无线电》杂志社带来了一套质量不错的收音机套件。无锡业余无线电协会的周立新(BG4TDF)现场动手，从上午10点到下午3点，一共花了近5个小时，组装完成了这套收音机套件。从学会使用电烙铁到学会识别电阻、电容等元器件，再到安装电路图一步步组装，对第一次焊接的初学者来说都是不小的难题。不少来参观会展的老无线电爱好者驻足关注，他们基本都有过焊收音机的经历，不时会给BG4TDF提出这样、那样的意见。还好，收音机套件资料齐备，BG4TDF按照图纸耐心焊接，终于完成了制作。装上电池，打开开关，扬声器里立刻传出了调频波段特有的“沙沙”声。再一调台，马上就有广播信号从扬声器里传出，成就感油然而生。

从这款收音机套件，笔者也看到了从 DIY 作品到成为一款爱好者喜爱的套件产品所需要的一些关键的要素：一个是尽可能详尽的教程，一个是尽可能完备的材料，再有就是尽量搭配上方便的工具。这些要素在国外的一些成熟套件的产品里常常是具备的。

小孩的乐园

创意制作嘉年华除了大人们从中享受DIY狂欢的快乐外，现场也一度成为小朋友的乐园。论坛讲座只有大人们能听得懂，小朋友们则对现场的机器人表演充满好奇。机器人表演一开始，放到地上的各种“机械装置”立刻成为孩子们追逐和逗玩的对象，无论是张牙舞爪的机器蜘蛛，还是挥动铁臂的抓球机器人，都是小朋友和大人们共同的玩乐对象。

年纪稍大的小朋友，对演示操作者手上的遥控器更感兴趣，非要接过去亲手操纵控制一下机器人。他们开始对比例遥控的动作开关还不适应，被控的机器人在场地中间乱转。初步熟悉了遥控器比例开关与机器人动作的关联性后，小朋友们居然每人操纵一个巨钳机器人开始了铁钳对战，俨然成了一场机器人大战的表演。

一些孩子在父母的带领下逐一参观每件DIY作品，懂行的家长还给孩子介绍作品的原理。一位做老师的妈妈带着女儿仔细地观看每件作品，还不时亲手把玩。妈妈不停地感叹“现在的小孩子都被电脑给俘虏了，如果他们能多多接触一下这些电子作品，减少对电脑的依赖就好了”。这位妈妈特别对《无线电》杂志社出品的《爱上制作》系列杂志书很感兴趣，觉得这本书对孩子的课外活动非常有指导意义。

持续狂欢

上海国际无线电展已经举办第三届了，记得第一届时《无线电》杂志就在展会上表示过，希望把爱好者们的DIY作品组织到现场展示，在本届展会上这个想法总算得以成功实现。如果能每年坚持，让这样的DIY狂欢持续下去，相信是每位读者的愿望。这样的活动要办得好，要吸引更多的爱好者还需要不断的努力和改进。笔者觉得应该在以下几个方面重点提升：

扩充内容。《参观指南》中提到有“跳蚤市场 FleaMarker”没有在现场见到，也有参观者跑来质问“不是说有跳蚤市场吗？怎么不见”。这个意见真实代表了部分爱好者们的意愿，他们非常需要有一个可以自由交易的跳蚤市场，让参观者有淘二手货的机会，同时也能形成一个历史器材、机型聚集的展示窗口。在国外的DIY展会上，“跳蚤市场”板块是历来都不可或缺的一部分，深受爱好者喜爱。

配套服务。要提供更多相配套的服务。例如：活动信息的及时提供与共享；优先、优惠获得产品购买的权力，互联网在线购买产品的信息指引等。对于支持举办活动并提供作品，甚至亲自到场演示的原创作者，应该给予良好的展示环境、适当的物质鼓励、器材运送邮递的配套服务等，吸引原创作者参与活动。

严格管理。展会的现场人员复杂，流动性大，一些小的作品容易被损坏甚至丢失。一是提前考虑技术措施防范，二是安排专人负责看管。今年的嘉年华活动管理得不错，小机器人都用细绳栓住，免得被热情的参观者不小心带走或弄掉摔坏，每个工作人员都专注地看管自己面前的几件作品，给观众讲解介绍同时也防止作品被弄坏，工作人员都穿着了统一的标志服，容易区分重点，进行区隔管理。

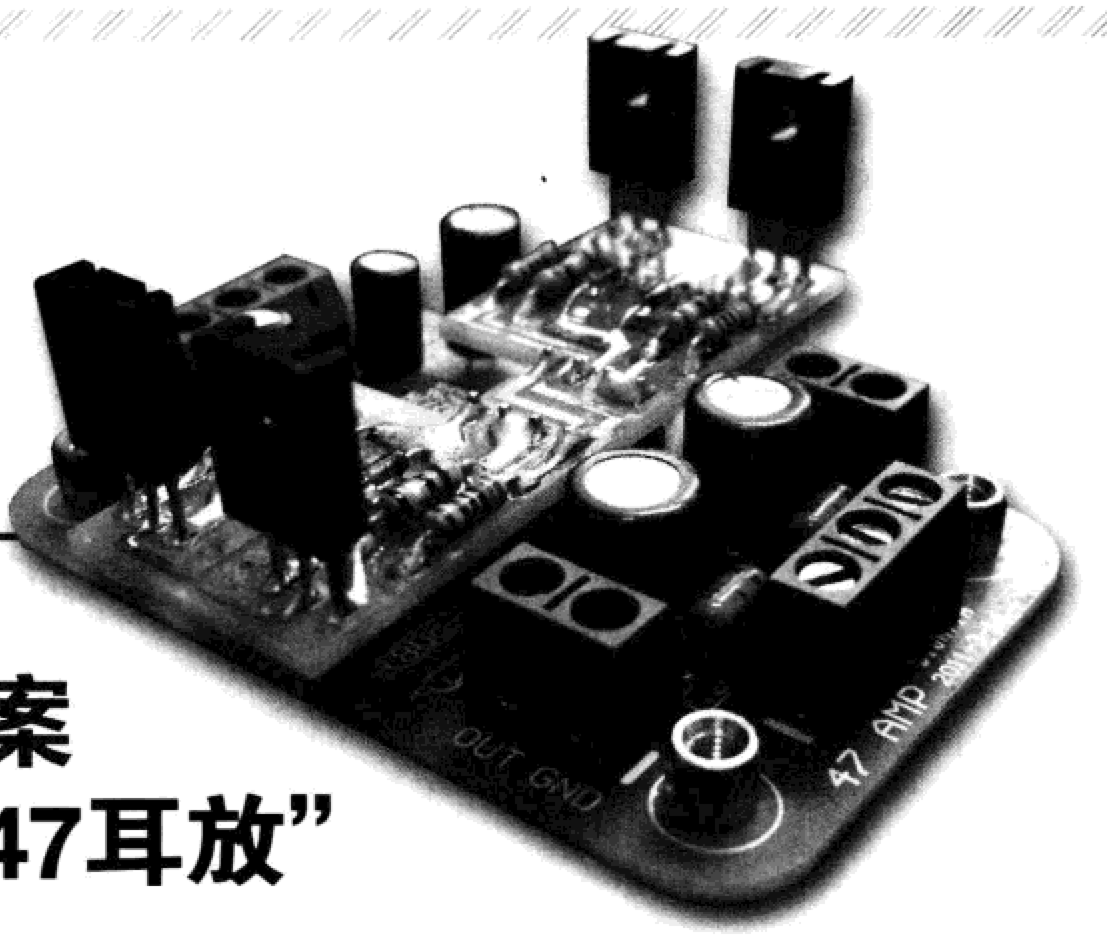
宣传。一个需要众多人参与的互动活动，宣传非常重要。这次展会有DIY嘉年华活动很多人还不知道。展会现场虽然散发的《参观指南》里有说明，但很少有人仔细阅读。面向更多爱好者的重要传播渠道——《无线电》杂志及互联网宣传的力度还不够大，详细活动信息披露不够。一些爱好者在事后都遗憾：“要是提前知道有这样的活动，我的作品也要拿去参展”。

活动进行中，杂志社发布了一些微博，但上传信息量有限及传播数量有限，对活动的真正宣传还是不太到位。对于大量的新兴年轻创客（创意制作爱好者）来讲，互联网是个主要的信息沟通渠道。建议在以后的活动开始前，充分利用互联网作为宣传通道，及时公布详细的活动内容安排。有意参与的爱好者们可以通过互联网可提前对作品进行在线展示和说明，吸引更多的人关注活动。

结语

2011年第三届上海国际无线电展内容很丰富，这里只摘取了部分内容进行介绍，更多内容请读者登录博趣－无线电论坛http://www.hobbypress.cn/bbs/read.php?tid-8675-page-e.html#a查看，也可以登录哈罗CQ火腿社区详细浏览http://www.hellocq.net/forum/showthread.php?t=272473&page=1&pp=30。

《无线电》杂志第一次举办的“创意电子嘉年华”非常成功，小小的DIY狂欢活动给上海国际无线电展增添不少的乐趣，也成为本届国际无线电展上的一个亮点。作为一名爱好者，我希望这样的活动能长久地办下去，让电子制作爱好者每年都能有一个激情的狂欢节！



◎林伟溟

13种改造方案玩透“47耳放”

在一年前，本人开发了一款耳机放大器。采用的电路原型是比较著名的“47耳放”。原版“47耳放”是由外国朋友设计的，由于电路中有很多以47为参数的元件，所以取名为“47耳放”。本人在原版“47耳放”的基础上，对电路结构、元件参数及布线做了一些优化，并同时开发了耳机保护电路和稳压电源。全套的设计资料已刊登在今年第2期《无线电》杂志上。

由于这款耳机放大电路结构简单、元件好配、工作稳定，因此其设计方案公布后得到了不少朋友的支持。不少朋友用此方案装出样机，并与我交流装机心得，还有一些朋友使用至今。

本人当初设计“47耳放”的时候并非只想让它成为单一用途的耳机放大器，因为此电路的兼容性很强，通过对PCB进行简单地修改，可轻易地改造成其他结构，效果立竿见影！我们通过改造电路得到满意的声音，从中得到快乐，这才是DIY的意义所在。本人就是在这个看来不复杂的电路上折腾出几套方案，现将自己的方案介绍如下。

本人昵称“虫虫小林”，所以下文中称本人设计的“47耳放”为“虫版47”。在该版本的PCB上只标明了元器件符号而没标注元件参数，因为PCB是电路的一种表现形式，而电路中元件的参数不是唯一的，这样就能看清楚元件在电路中的位置，改进或维修也会比较方便。

言归正传，首先看一下“虫版47”的电路图（见图1）。为了方便大家看清结构，用一个基本电路结构表示两个声道的放大电路，元件符号为一个声道的，括号标注为另一声道元件符号。

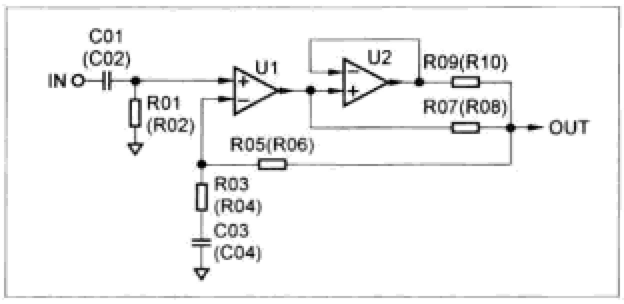


图1

C05、C06为两个超前补偿电容，它们对电路结构影响不大，所以为了看清结构，直接删掉。浮地电阻和电源部分也没有标出，仅讨论放大部分。

U1是基本的正相比例放大结构，U1输出端经过47Ω电阻连接至电路输出端，同时也把输出的电压信号直接输入给U2。U2是电压跟随结构，功能类似缓冲器。U2将U1输出的信号“复制”后同样也通过47Ω电阻连接至输出。这样U1、U2 形成并联结构但又并非完全同步，感觉U2好像是在U1有动作之后才动作的，给人一种步调不一致的错觉。实际上这两个运放只有少许的相位差。这样做的特点是为了增加了运放的电流输出能力，同时也对整体电路的声音进行修饰。

U1、U2分别是两个运算放大器，在设计PCB的时候采用双运放芯片。其中一个芯片进行两声道的放大，另一个芯片进行两个声道放大后的电压跟随。这样分工明确，两声道不仅对称。还可以更换不同的运放。

下面说明一下“虫版47”可以构成的电路结构、工作原理、修改方式以及方案扩展。

方案1 标准版的“虫版47”耳放

此方案在《无线电》杂志今年第2期的文章中已经详细介绍了，直接上电路板的实物图（见图2）。左边为裸板，可以看清元件符号，右边已装好，可以看清元件内容。互相对照，方便弄清符号和元件的对应。

此方案是最初开发的“虫版47”的标准电路，直接按照电路图焊接即可。运放使用飞利浦拆机的NE5532，成品电路工作稳定，适合推动大部分高阻耳机和一部分低阻、高灵敏度耳机。因每个人口味不同，对于声音暂不作评价，大家可以自行测试。

图2

方案2 更换电容（新手适用版）

这个方案的操作方式十分简单。换电容也是发烧友磨机常用的手法之一。由于电容对音频信号影响比较大，所以更换电容比那些更换电阻、线材、接线柱的方法效果要更明显。有4个对信号有较大影响的电解电容C01（C02）、C03（C04）可以更换，在更换时要注意参数的选择，参数过小可能会影响低频。具体参数选择可参考方案3。

方案3 更改放大器放大倍数

一般的放大器都有一个稳定的放大倍数。但是由于使用情况的不同，比如耳机阻抗及灵敏度不同，需要的放大倍数也不是唯一的。标准版“虫版47”的放大倍数为2.4倍左右，适合目前大部分高灵敏度耳机。但是如果使用阻抗较高且灵敏度偏低的耳机，2.4倍就显得不够了，那么就需要通过修改参数来提高放大倍数。

放大倍数主要是通过R03（R04）、R05（R06）两个电阻决定的，其倍数为R05（R06）的参数除以R03（R04）的参数的结果再加1。根据公式可知，若想增加放大倍数则可以通过增大R05（R06）或者缩小R03（R04）来实现。相反要想缩小放大倍数则可以缩小R05（R06）或者增大R03（R04）。

当然参数也不是可以胡乱修改的。电路反馈结构为交流反馈，R03（R04）、C03（C04）两个元件的参数会影响反馈的截止频率。如果想通过缩小R03（R04）来提高增益又不改变其截止频率，C03（C04）的参数也要以同样的比例增大。

若想通过增大R05（R06）来增加增益的话就没有那么麻烦了，直接增加参数即可。不过这里要说明一下，有少数运放输入阻抗较低，需要的反馈电流较大，增大R05（R06）会降低反馈深度，甚至引起电路故障。另外，运放反馈电阻的参数我习惯和运放输入端对地的电阻保持一致，这样可以统一两个输入端的偏置，使运放工作更稳定。也就是说如果修改R05（R06），我会把R01（R02）也修改成相同的参数。而C01（C02）与R01（R02）构成输入端的滤波电路，增大R01（R02）会降低输入滤波的低频截止频率，虽然不会对声音有什么严重的影响，但是在这里还是提一下比较好。

操作方法：更改R03（R04）、R05（R06）参数至放大倍数满足个人需要，必要时对C03（C04）参数做调整，以便使电路正常工作。

方案扩展：方案3可以与方案2搭配使用。

方案4 直流反馈与交流反馈

我设计的“虫版47”与原版“47耳放”有几点明显改进。首先增加了浮地电阻，修改了参数，其次增大了2个退耦电容，最后更换了运放同时使用了交流反馈电路。当然PCB布线方面也下了很大功夫。 然而为什么要改为交流反馈呢？因为这样可以让更多的运放在此电路下工作稳定。原版电路使用OPA2132这个失调电压较低的FET输入型运放，在直流反馈模式下，输出中点不会有什么大问题。但是如果使用NE5532这类失调电压较高的BJT输入型运放，在直流反馈模式下，会有较高的直流输出，有时候甚至高达50mV！毕竟每个运放的指标都不会那么完美，但又不能因为指标上的不足，放弃一种运放特有的音色，直接的解决办法就是把电路改为交流反馈。于是“虫版47”便以交流反馈的结构出现了，同样使用NE5532的条件下，交流反馈结构可以把输出中点控制在1mV之内，相对于之前已经有了很明显的改善。如果大家使用漂移较小、输入阻抗较高的运放，或者不喜欢此类结构的电路，可把交流反馈改为直流反馈。

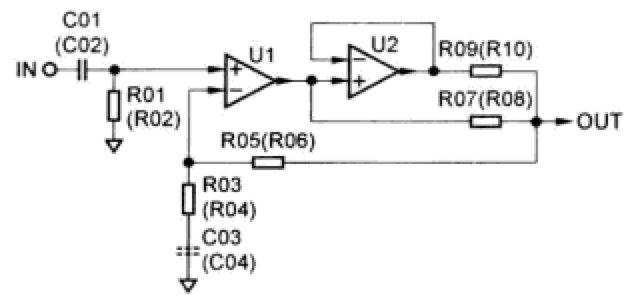


图3

图4

操作方法：直接把C03（C04）拆掉，原来的位置用导线短路（见图3、图4），在电路图中用虚线表示删掉的部分，用红色表示增加的部分。
方案扩展：此方案可以与方案2、方案3任意组合搭配使用。另外可以在改为直流反馈的基础上短路伏地电阻，修改电路参数为原版47结构。

方案5 RA1结构

RA1是歌德的一款经典耳放，其知名度非常高，而且电路非常简单，售价却高得惊人。RA1的本质就是一个以NJM4556运放为核心的最基本的比例放大电路。要说特色，也只能说前面两个电容比较有特色了，其余真的没有什么玄机，完全可以靠“虫版47”经过删减得到同样的结构。修改电路结构后见图5。

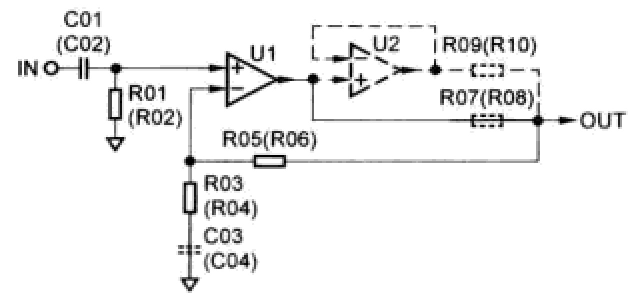


图5

图6

操作方法：拆掉C03（C04）、R07（R08）、R09（R10）、U2，短路C03（C04）、R07（R08），最后U1改为NJM4556D（见图6）。
这样一来电路结构就和RA1一样了，但是参数还是有些差距的。如果想继续向RA1靠拢，可以把参数也一起改了。
操作方法： C01（C02）取5μF，R01（R02）取100kΩ，R03（R04）取122kΩ，R05（R06）取465 kΩ。
方案扩展：此方案可以与方案2、方案3任意搭配使用。也可以参考方案4将C03（C04）装上变为交流反馈结构，便可适应更多运放并对声音润色。

方案6 更换不同运放

前面已介绍过，在PCB设计时考虑到U1、U2两部分可能使用不同运放，所以把前后分别设计成两个IC。这里介绍如何更换不同运放。请注意，这里并非是简单地把运放拆下来再换上去，而是如何将两个参数不同的运放更合理的并联起来。

并联大多是为了提高电流输出能力，但是像运放、二极管、三极管这类非线性元件是不能够直接并联的。以运放为例，两个运放指标并不可能完全一致，输出电压若有微小差异都会使得电流从一个运放输出端流入另一个运放的输出端。静态下会大大增加整体电路的功耗，在负载情况下不但不能提升输出电流，还会使其中一个运放损耗另一个运放输出的电流。所以通常放大器并联都会在输出端串联一个均流电阻，作用就是平衡两个运放的输出电流。“虫版47”电路的两个运放就是分别串联47Ω电阻后并联的。第二个运放为电压跟随结构，两个运放输出端电压需基本一致。两个运放输出端分别经过47Ω电阻后汇合，两个47Ω电阻上承担的电压也是基本一致的，这样两个47Ω电阻上的电流，也就是两个运放输出的电流也是基本一致的。就算两个运放输出会有不同，在静态环境下也是一个运放的输出端经过94Ω电阻缓缓流入另一个运放的输出端，而不是直接流入（运放输出漂移大都是毫伏级别的，夹在94Ω电阻两端通过的电流也是毫安级别的，甚至是微安级别的，所以很安全），在动态环境下也能保证两个运放可以大致平分输出电流，而不会互相抵消。

但有的时候并非需要两个运放输出电流保持一致。前面说了，由于两个运放功能不同可以更换不同的运放改善其声音，由于两个相同阻值的均流电阻存在，即使更换了不同的运放，前后两个运放输出的电流也基本是一样大的。所以很多朋友在U2处使用了大电流的运放后声音还是显得有气无力。如果想要两个运放，根据自身的条件合理分配输出电流，就要改变R07（R08）、R09（R10）两个电阻的参数了。

由于R07（R08）、R09（R10）两个电阻两端的电压是基本一致的，所以流过R07（R08）、R09（R10）两个电阻的电流和电阻本身的阻值是成反比的。也就是说U1输出电流与U2输出电流的比值为R09（R10）与R07（R08）阻值的比值。

知道了上述比例关系，便可以按照自己需要的比例控制两个运放的输出电流了。当然若想制定出合理的参数还需要参考运放的资料，了解需要使用的运放的输出电流能力。

有些运放在资料里面注明了短路限制电流，比如AD827：平均32mA；LF353：最小10mA，平均40mA，最大60mA；NJM4558：最小5mA，平均25mA，最大60mA；NE5532：最小10mA，平均38mA，最大60mA。有些给出了输出电压和电流的关系，比如OPA2132：输出±10V，电流为45mA左右。还有些直接给出了输出电流，比如OPA2604：输出电流35mA，短路限制电流40mA；NJM4556D：输出电流70mA，输出+6V可达到100mA，输出-6V可达200mA。

从以上数据大家也许明白了为什么原版“47耳放”会使用OPA2132，歌德RA1为什么会使用NJM4556。了解大致参数后就要确定电阻的取值了。比如U1使用AD827，U2使用NJM4556。AD827短路电流平均为32mA，若想稳定工作必然不能使它工作在极限环境下。NJM4556输出电流可以大于70mA。假设当NJM4556输出50mA时AD827输出5mA，那么R07（R08）就要是R09（R10）的10倍大小。考虑到电阻太大会引起较大的电压损耗，所以建议两个电阻并联后的整体参数不要大于30Ω。这里R07（R08）取220Ω，R09（R10）取22Ω即可。

操作方法：更换R07（R08）、R09（R10）至合理参数即可。电路图就是“虫版47”电路，结构上没有变化，只是参数做了修改。参数需根据个人需要选择，若是用其他运放请自行取值。
方案扩展：此方案可以与方案2、方案3、方案4任意搭配使用。

方案7 运放前推后结构，大环反馈模式

前一段时间，一个朋友使用“虫版47”之后和我分享使用心得。他说把电路中的R07（R08）拆掉后声音会变得比较好听。一开始我觉得可能他把电路装错了，但仔细观察电路之后恍然大悟，原来漏装R07（R08）两个电阻之后，电路变成了一种完全不同的结构（见图7）。

前面说到，U2为电压跟随结构，总体上看类似缓冲器。而U1是比例放大结构，将反馈取样点设置在U2之后。“虫版47”

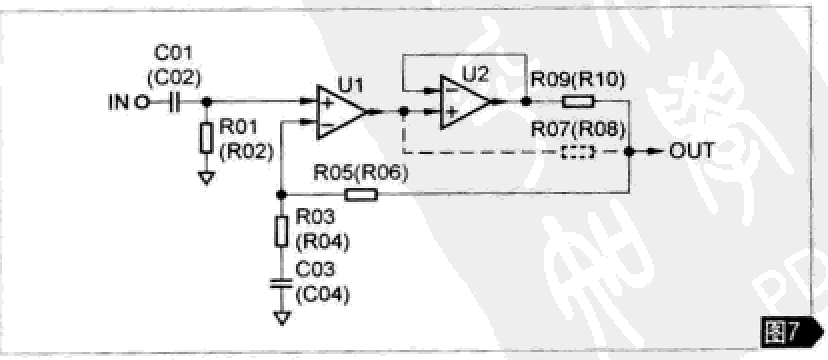


图7

去掉R07（R08）后，总体电路便形成了运放推缓冲器且大环反馈的前推后结构。这样前面运放U1只进行放大不承担电流，而后面的U2只输出电流不进行放大，分工明确。大环反馈稳定整体电路的增益，所以此时电路结构合理，不但没有因为漏装两个电阻引起故障，反而得到了一个全新的电路结构。

同样，这个电路也可以用方案6的思路去解释。R07（R08）去掉后，相当于R07（R08）的阻值无穷大，而R09（R10）为47Ω，按照比例，U2输出电流应该是U1的正无穷倍，也就是说U2输出电流而U1不输出电流。

由于是大环反馈，所以R09（R10）是不会影响到输出的，此时R09（R10）位置上的47Ω电阻不再起到均流作用，在这里会增加输出的损耗，所以最好将它短路（见图8）。

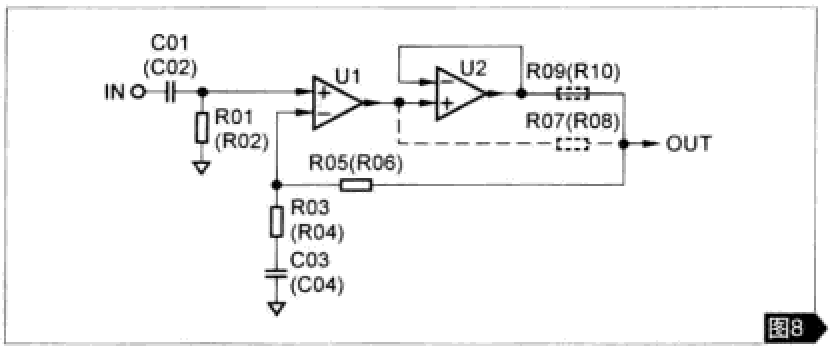


图8

操作方法： 拆掉R07（R08）、R09（R10），用导线短接R09（R10）。运放还是选取方案6所使用的AD827+NJM4556DD，AD827指标高作U1，NJM 4556电流大作U2。

方案扩展： 此方案可以与方案2、方案3、方案4任意搭配使用。另外还可以选取不同运放测试，具体参考方案6，且不需要修改电阻参数。

方案8 运放前推后结构，小环反馈模式

在方案7中已经详细介绍了运放前推后结构大环反馈模式电路的修改方式以及工作原理，在大环反馈模式中U1只进行放大，U2只负责输出电流。最后输出的信号是反馈给U1的，也就是说最后输出的声音理论上是U1的声音，U2的存在只是让输出电流的能力提高了而已。现在有很多耳放电路为了追求声音的风格，放弃了稳定的大环反馈结构，而是采用小环路局部反馈加缓冲的结构。根据"虫版47"的电路，也可以修改为这样的结构。

前面的方案7已经形成运放推缓冲的结构，在方案7的基础上通过简单地改进即可变为小环路局部反馈的结构。

若小环路反馈，U1便可以独立工作，单独完成放大部分，将放大后的信号传递至U2，U2再将输入的信号进行缓冲。据说一种运放一种声音，虽说电压跟随结构可以按照前面的信号输出相同的信号，但也不会和前面的信号完全一样的。所以使用这种结构会对音色有一定的润色而不会出现太大的失真度，综合来看这种结构还是值得尝试的。

通过观察电路，可以发现要想实现小环路局部反馈结构，只需要在方案7的基础上将R05（R06）接在U2输出端的那一引脚连接至U1输出端即可，而U1输出端刚好有之前拆掉R07（R08）电阻的脚位可以利用，所以改造起来非常方便（见图9）。

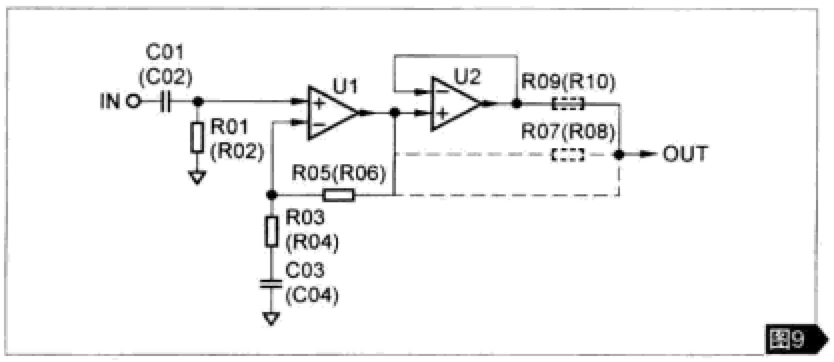


图9

图10

由于两个焊盘距离太近，所以只能将电阻立起来，电阻立起来之后高度会增加不少，如果要使用单运放转双运放的转换板，或是使用"虫版47"专用的扩展板（下文会提到），这两个立起来的电阻的存在显然造成了很多不便。这时不得不把早已经被我们无视的C05（C06）的位置拿出来使用一下了。R05（R06）与C05（C06）靠近IC一边的焊盘是连通的，我们可以将R05（R06）靠内侧的焊点向下移动到C05（C06）的位置上，这样电阻就可以躺下了。只是方向是斜的（见图11）。

如果觉得斜的不好看可以继续发掘资源，将刚才移动的焊点继续下移，与R03（R04）共用一个焊盘（见图12）。

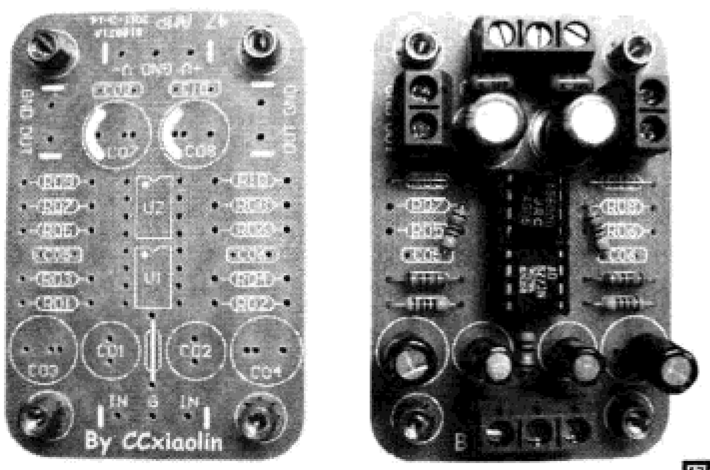


图11

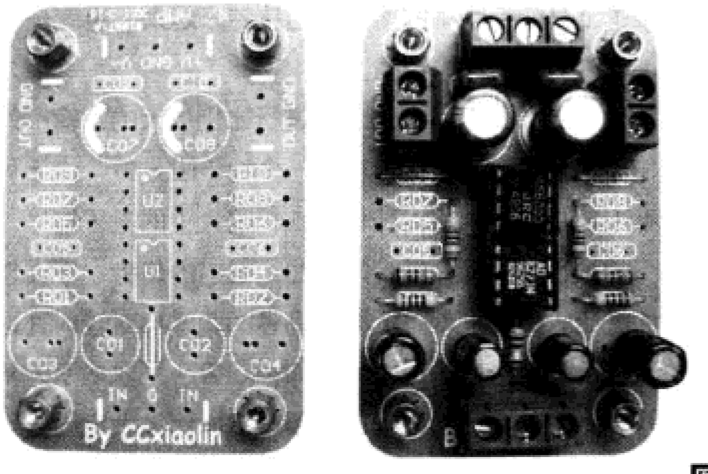


图12

操作方法： 拆掉R07（R08）、R09（R10），用导线短路R09（R10），将R05（R06）靠近板子边缘的一脚焊接在已经拆掉的R07（R08）位置上（靠近IC的焊盘上）即可（见图10）。

方案扩展： 此方案可以与方案2、方案3、方案4任意搭配使用。另外还可以选用不同运放测试，可参考方案6，且不需要修改电阻参数。

方案9　输出串联电阻作用及取值

说到输出串联电阻，不少人会表示疑惑。通常为了减小电路损耗都会尽量降低线材的电阻，现在为什么还要在输出端增加一个电阻呢？当然这个电阻不会是那么随便加上去的，增加电阻肯定有它的作用所在。

首先要从耳机单元的阻抗说起。阻抗并非耳机的直流电阻，阻抗的定义是在电路中对交流电所起的阻碍作用，单位还是Ω。阻抗由电阻、感抗和容抗三者组成，但并非三者直接相加。现在常见的动圈耳机单元内部主要是由线圈、永磁铁和振膜组成，交流信号流过线圈产生电磁感应，与单元内部的永磁铁产生相互作用推动振膜并发出声音。

既然是线圈，那么线圈本身就可以看成一个电感，是电感就会有感抗。那么在交流条件下内部会产生反向电压对传入电流产生阻碍，使阻抗增加。另外线圈在磁场中振动切割磁力线，做类似发电机的运动，内部也会产生电压，影响传入信号，造成阻抗变化。当然影响耳机阻抗的因素还有很多，这里就不做重点介绍了。耳机的功率越大，单元尺寸越大，这类现象就越明显。

我们看到耳机包装上面参数介绍的阻抗，实际上是耳机在1kHz正弦信号下的阻抗。为了反应耳机在各频率下的阻抗特性，可以用阻抗曲线来表示。

从网上搜索到了几款常见耳机的阻抗曲线，其中有我正在使用的森海塞尔HD595，还有大家都比较熟悉的HD600、HD650、拜亚动力DT990（见图13）。

从图13可以看出，几款耳机的阻抗特性趋势都很类似。在

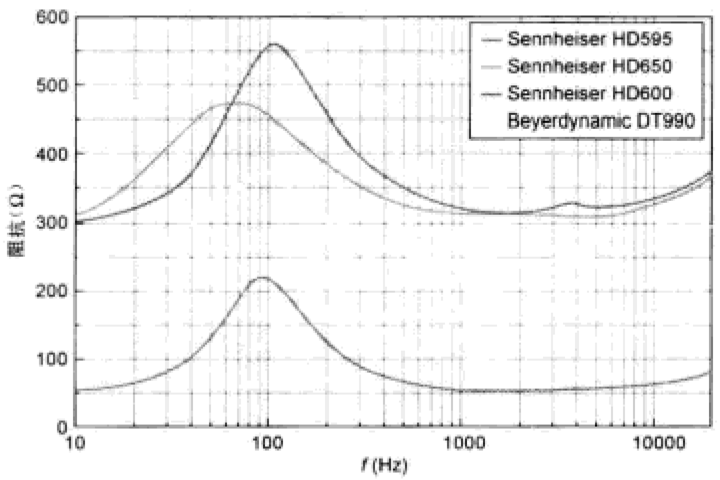


图13

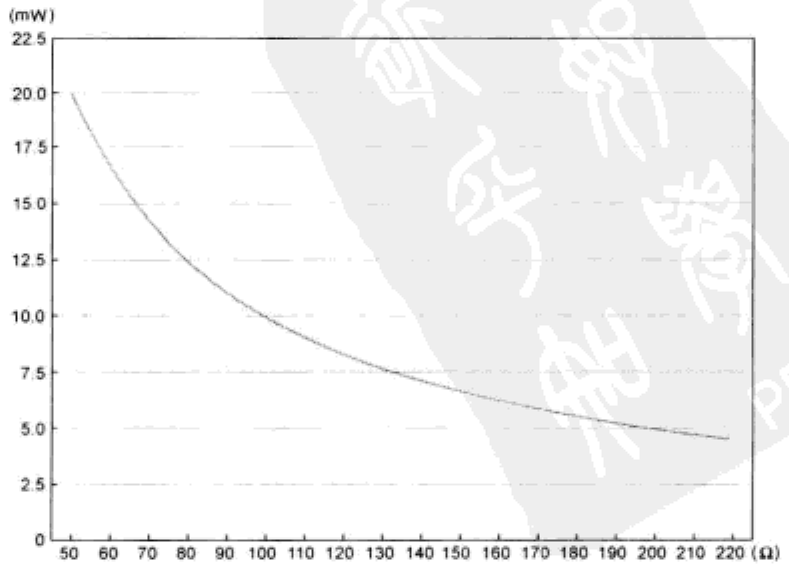


图14

100Hz前后会有一个明显的高峰，然后逐渐降低。从10kHz左右开始，基本上是随着频率的增加，阻抗越来越大，也就是说低频和高频部分的阻抗相对比较高。

大部分放大器都是对电压信号进行比例放大的，输出的是一个电压信号。而作为负载的并非是一个纯电阻元件，由于耳机在不同频率下电阻不同，所以即使输出相同大小的电压信号，在不同频率下功率也会不同。结合阻抗曲线图中的趋势，不难想象，这样的曲线给人的感觉就是低频和高频的功率相对较弱（这里暂不讨论其他因素对听感的影响，比如频响等，只以功率为基准进行讨论）。一个功率放大器输出按照一定比例放大电压信号，却因为负载阻抗在各频段的不平衡，导致输出功率的不平衡，这难免让人感觉有些别扭。为了解决这个问题，最简单和经济的方法就是在输出端串联电阻。这样在负载中串入电阻后可以在一定程度上减少由于阻抗变化导致的功率不平衡。

工作方式可以简单地理解成一个定值电阻和一个可变电阻串联，并给其施加恒定的电压。当可变电阻的阻值减小时，虽然整体电阻减小，电流增大，但是由于该电阻分压也会随电阻的减小而减小，所以功率不会明显增大。反之当电阻增大时，虽然整体电阻增大，电流减小，但是由于该电阻分压随之增大，所以功率也不会明显减小。这样便可以使耳机在工作时不会由于阻抗的变化而造成功率上的相对大幅度变化。

以HD595为例，如果不在耳机上串联电阻，由于100Hz下阻抗较大，几乎是1kHz的4倍。如果直推耳机，在100Hz下输出功率会是1kHz的1/4。

串联电阻后会对上面的现象进行修正，使得阻抗在升高时依然保证输出功率的相对稳定。HD595的阻抗根据频率的变化在50~220Ω变动。根据计算串联电阻，选用100~120Ω比较合适。此时，不论耳机阻抗在50~220Ω如何变化，功率依然可以保持稳定。

为了说明问题，自己绘制了HD595在1V交流信号输入时串联不同阻值电阻下阻抗与功率对应关系的曲线图。

图14所示的是没有串联电阻时耳机阻抗与功率关系，可以看出在耳机阻抗为50Ω时功率约为20mW，但当耳机阻抗变为220Ω时功率却不到5mW。基本上有4倍多的差距，可见如果放大器直推，在100Hz左右的声音功率会小很多。

若串联50Ω电阻，耳机阻抗与功率关系如图15所示。这时我们发现不平衡现象已得到明显的改善，耳机阻抗在50~220Ω变化时，功率的差距不到2倍。虽然还是有较大差距，但是相对于之前直推造成的4倍差距来讲已经很不错了。而功率也由之前的20~5mW降低到了5mW以下。

串联电阻阻值继续增加到100Ω时，耳机阻抗与功率关系如图16所示。此时功率的不平衡现象有了极大的改善，曲线基本上是平稳了，在阻抗变化的范围内功率在2.3~2.5mW小幅度的变化，此时整体功率也随之减小。

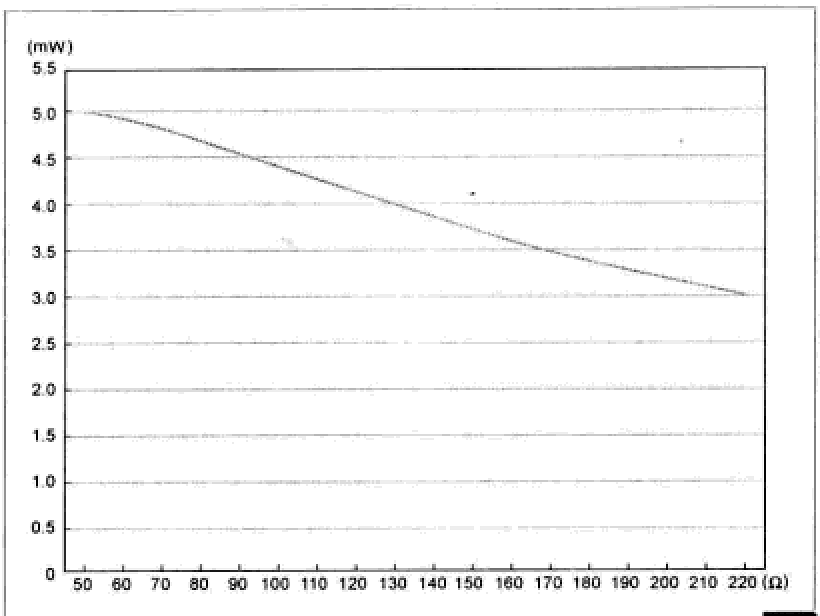


图15

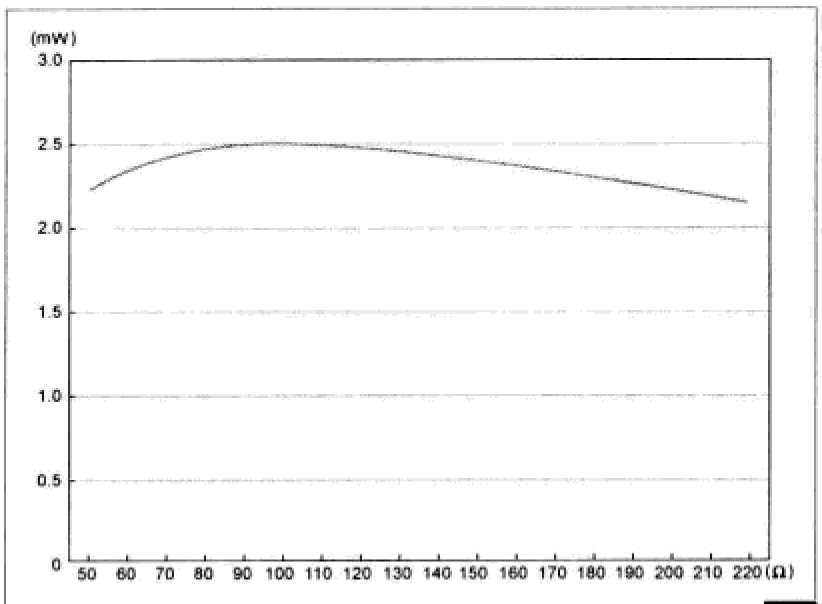


图16

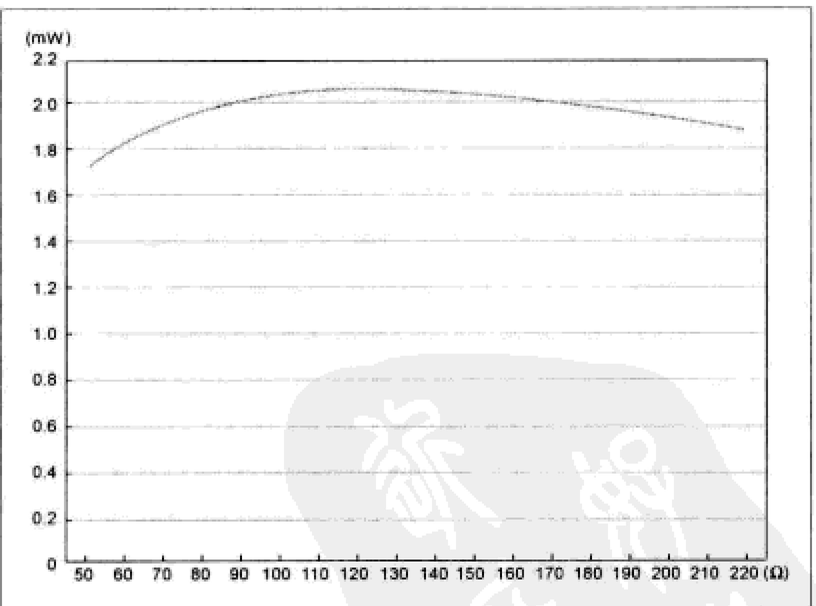


图17

若使用先前计算的120Ω电阻进行串联，得到的曲线如图17所示。此时整体功率变化幅度依然保持稳定，与之前串联100Ω电阻相比会有些许改善。而此时功率已经下降到了2mW左右。

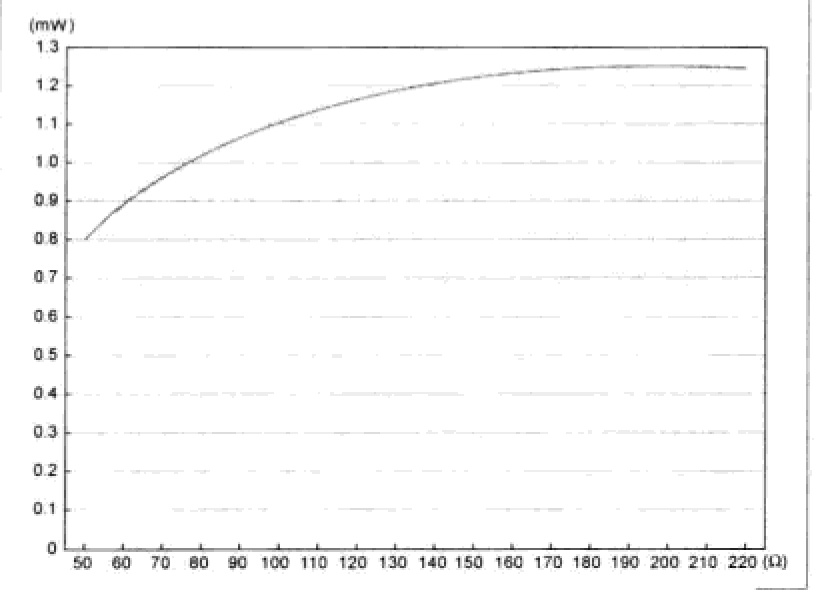


图18

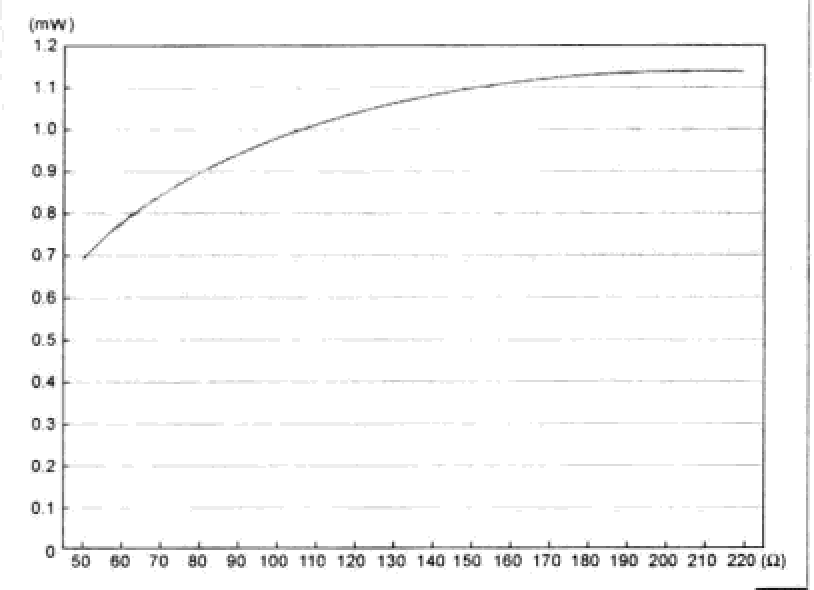


图19

在条件允许的情况下使用100~120Ω电阻串联是个不错的选择。我们可以继续增大串联电阻的阻值以便弄清其变化规律。电阻增加到200Ω时，曲线变化如图18所示。此时的功率随阻抗在明显上升，原本直推功率随阻抗增加而减小的趋势不仅仅被改善了，可以说被彻底逆转了，为之付出的代价就是功率减小到1mW左右。

最后用220Ω电阻进行测试，得到的曲线如图19所示。220Ω电阻串联后经过参数计算，验证了上面的说法，功率随阻抗升高的幅度变得更大，整体功率也变得更小。

根据上面几个曲线图我们可以看出，由于耳机自身阻抗的增加，导致功率下降，这个问题可以通过串联电阻得到改善。而串联电阻的阻值越大，对此现象改善的效果就越明显。但是随着电阻阻值的增加会产生越来越大的损耗，直接导致的问题就是耳机输出功率越来越小。所以串联这个电阻时，不但要考虑耳机的阻抗特性，还要考虑放大器的输出能力。对于一些输出电压幅度较低、功率较小的耳放，应该尽可能地减小串联电阻的阻值，这样才能在改善功率波动的同时，满足正常使用的需要。

比如HD595耳机，如果放大器使用双15V供电下的47耳放，输出可以达到12V的最大值，其有效值至少也有8V。按照8V计算，串联120Ω电阻后也可以在耳机端输出100mW以上的功率，所以在这里100~120Ω都是没有问题的。

另外，本文中讲述的主要是以功率平衡为目的计算串联电阻的取值。但是如果考虑其他因素，比如放大器和耳机的频率响应。就算功率平衡了，声音也不一定是平衡的，所以具体取值不能只考虑功率波动，最重要的还是根据声音来调整参数。如果使用其他耳机和放大器的组合，请参考前文自行取值。该方案主要介绍串联电阻的作用及取值，下面介绍增加输出电阻如何修改PCB。

方案10 RA1结构增加输出电阻

在方案5中已经详细介绍了如何将“虫版47”修改为RA1结构。结合方案9可以在RA1电路的输出端增加电阻，以此来改善功率波动。电阻取值参考方案9，本文先使用100Ω电阻做示范。大家可以根据自己情况自行选取合适的参数（见图20）。

操作方法： 拆掉C03（C04）、R07（R08）、R09（R10）、U2，短路C03（C04），将R05（R06）靠近板子边缘的一脚接在R07（R08）靠近IC的焊盘上，输出串联的电阻装在R07（R08）位置上（见图21）。

方案扩展： 此方案可以与方案2、方案3、方案4任意搭配使用。另外还可以选用不同运放测试。调整R07（R08）的参数可得到自己喜欢的声音，具体操作参考方案9。

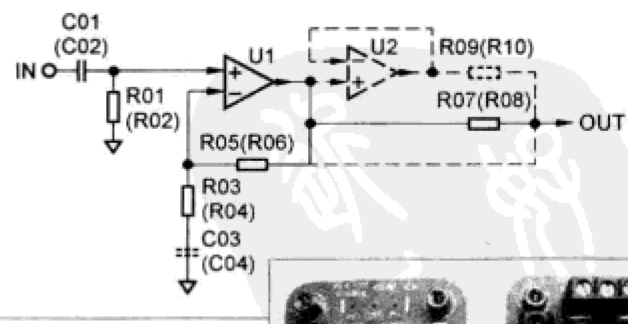


图20

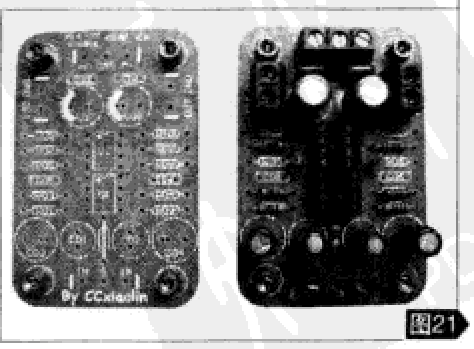


图21

方案11

运放前推后结构，大环反馈模式输出串联电阻

该方案同样也是对方案9的典型应用。前面的方案7中提到的运放前推后结构大环反馈模式也可以经过修改得到输出串联电阻的结构。通过观察方案7的电路发现，只要在方案7的基础上将R05（R06）连接至输出端的一脚接在R09（R10）与U2输出脚的交点上即可（见图22）。

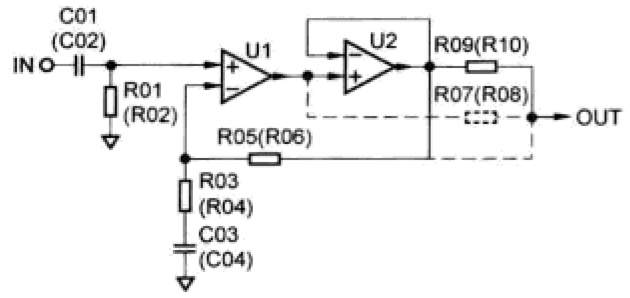


图22

图23

操作方法：拆掉R07（R08）、R09（R10），将R05（R06）靠近板子边缘的一脚接在R09（R10）靠近IC的焊盘上，输出串联的电阻装在R09（R10）位置上（见图23）。

方案扩展：此方案可以与方案2、方案3、方案4任意搭配使用。另外还可以选用不同运放测试。可调整R09（R10）大小到自己喜欢的声音，具体操作参考方案9。

方案12

运放前推后结构，小环反馈模式输出串联电阻

既然运放前推后结构大环反馈模式输出可以串联电阻，那么小环反馈模式输出也是可以通过修改电路实现输出串联电阻的结构，而且该方式更简单，不需要两个引脚挤一个焊盘。方案8的电路是小环反馈结构，取样点并不在输出端，所以在输出增加电阻的时候并不需要修改反馈环路，只需要在方案8的基础上将输出串联的电阻装在R09（R10）位置上即可（见图24）。

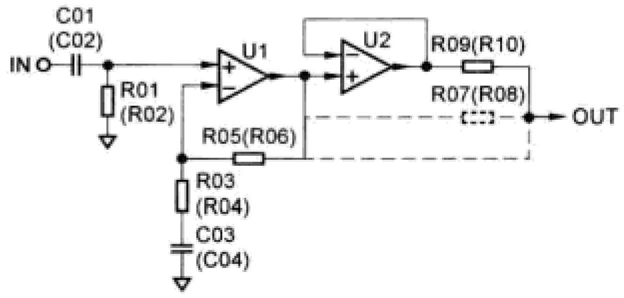


图24

图25

操作方法：拆掉R07（R08）、R09（R10），将R05（R06）靠近板子边缘的一脚接在已经拆掉的R07（R08）位置靠近IC的焊盘上，输出串联的电阻装在R09（R10）位置上（见图25）。

方案扩展：此方案可以与方案2、方案3、方案4任意搭配使用。另外还可以选用不同运放测试。调整R09（R10）的大小可得到自己喜欢的声音，具体操作参考方案9。

方案13 “虫版47”U2扩展板

大家可以看到“虫版47耳放”的结构为前后两个运放，而第二个运放为电压跟随结构，U2的作用类似于缓冲器。现在市面上很多耳放都是采用运放推对管的电路形式。我们能不能在“虫版47耳放”的基础上通过简单的修改实现上述结构呢？答案是肯定的，而且可以有很多种折腾方式。

首先举例的是最基础的运放推对管缓冲电路结构（见图26）。这是一个比较基础的运放推对管大环反馈结构的电路。对管部分用了最简单的形式，两个二极管做大管偏压，R1、R2提供偏流，R3、R4两个输出电阻与对管形成局部反馈稳定三极管工作点。前面方案7中介绍的前推后结构大环反馈模式与这个结构完全一致，区别只是第二级的内容不同。方案7中使用的是运放，而现在这个电路中用的是红色部分的电路。我们可以通过转接板的形式将电路中的红色部分做在一块小电路板上，再把输入端、输出端、电源端按照运放的脚位以插针的形式引出，便制成了这个U2扩展板（见图27）。

U2扩展板是一个用于代替U2的小电路板，本质就是一个缓冲器。图27中所展示的是一个最基本、最简单的缓冲器结构，我们也可以使用其他电路结构制作U2扩展板，比如两个单运放、两个缓冲芯片，甚至使用更复杂的电路将“虫版47”变为莱曼、SOLO、拜亚A1等名厂名机的结构。如果今后有条件会开发更多的扩展板并向大家公开电路和PCB，以满足大家的DIY需求。

“虫版47”目前能折腾之处已经都总结出来了，几种方案互相组合最后能搭配出几十种电路。所有的方案全部在此公布，希望对大家DIY有所帮助。

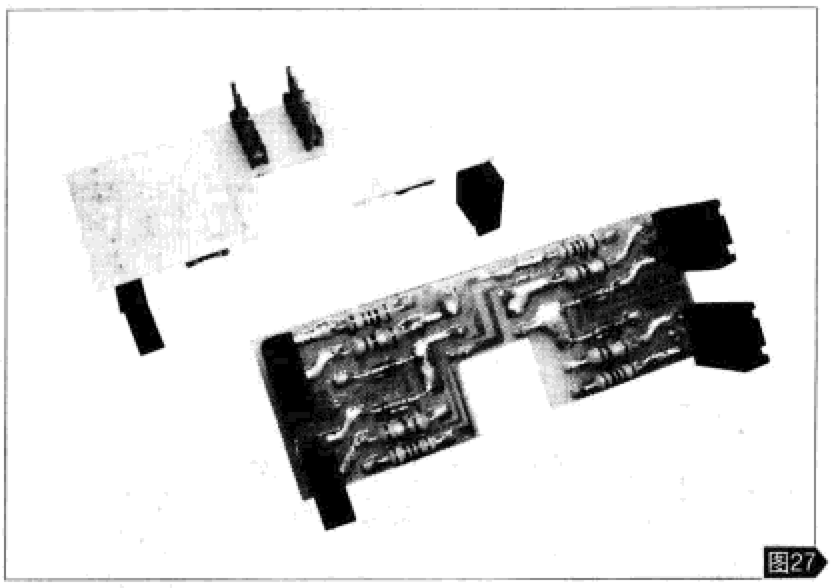


图27

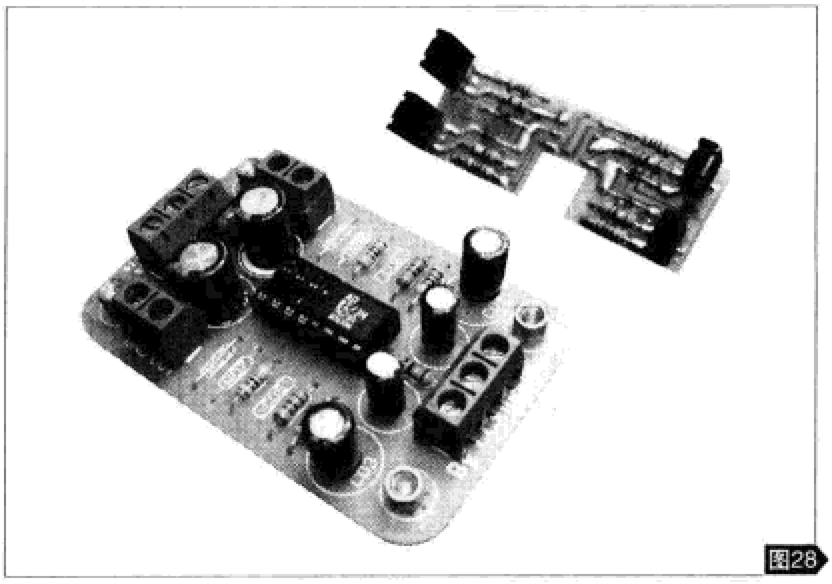


图28

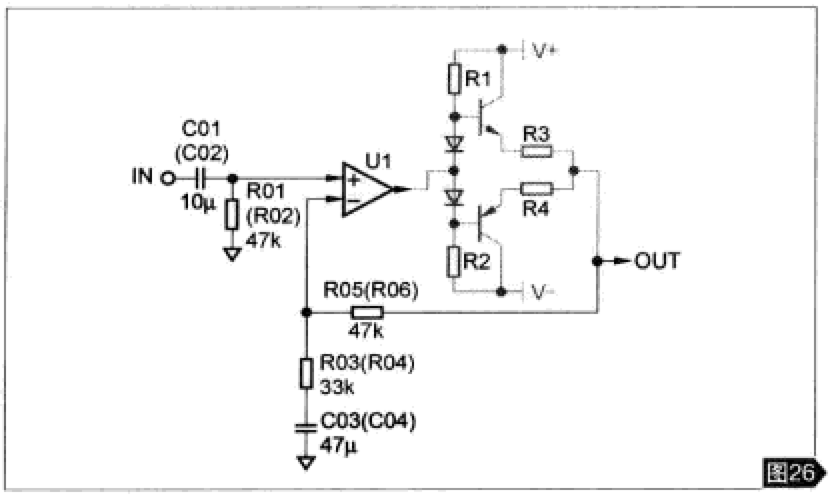


图26

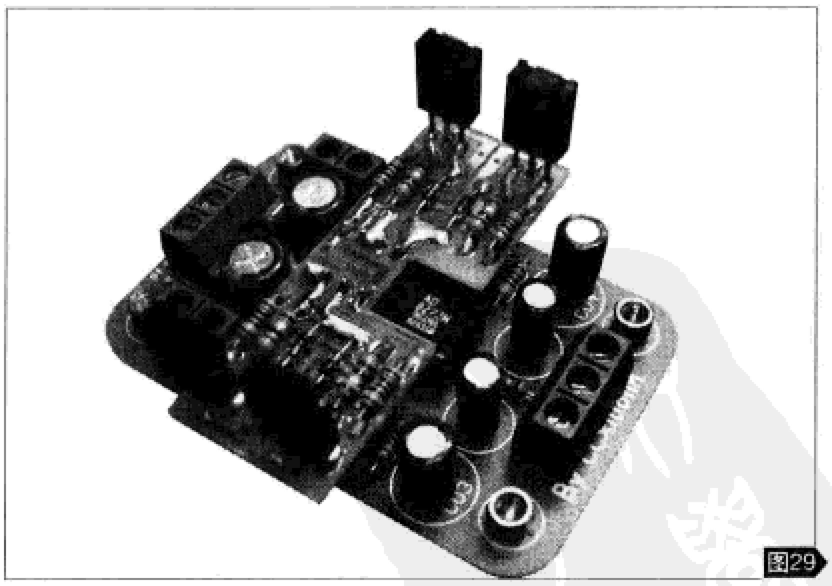


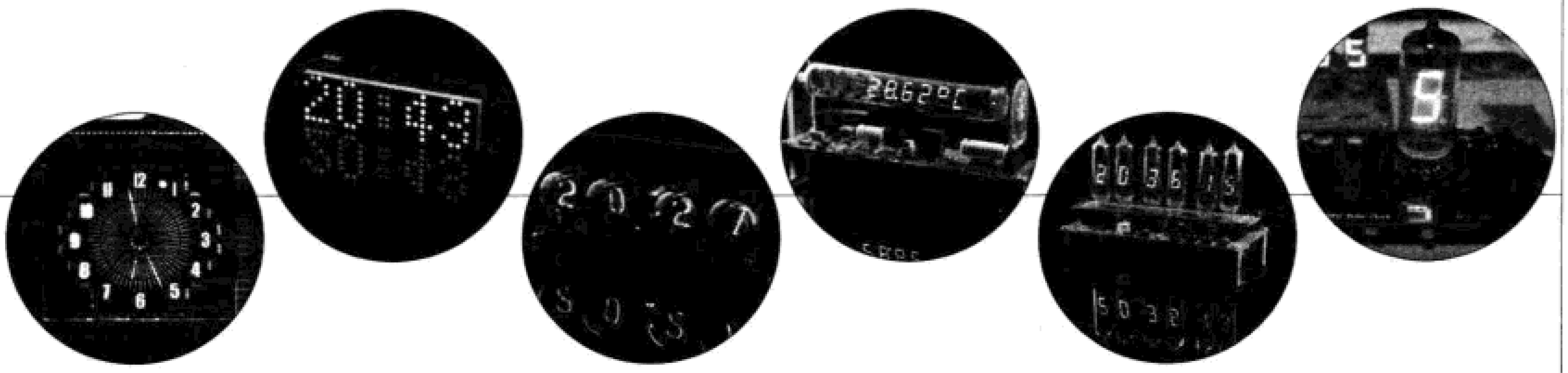
图29

操作方法：根据需要使用“虫版47”U2扩展板（可自行设计制作），拔下电路中的U2插上扩展板即可（扩展版的安装见图27、图28）。

方案扩展：该方案的兼容性很强，可以与方案2、方案3、方案4、方案7、方案8、方案11、方案12互相搭配使用，在标准版“虫版47”还可以更换运放，并参考方案6调整合适的电阻值分配运放和扩展板的输出电流。

◎段卫军

打造自己的GPS无线同步校时系统



这几年，我利用业余时间断断续续制作了一些时钟，辉光的、荧光的、LED点阵的……造型、精准度都是我们这些时钟爱好者永无止境的追求，在我们心中没有最好，只有更好。

实现高精准时钟的前提首先是高精准时间源的获取。在中学生数学、物理课本中，时间被表述成一条有起点、有单位、有指向、无始无终的直线。日常生活中，我们并不需要像科学家们研究得那么深奥，我们只是需要一个能准确指示当前时间的时钟。可什么是准确的时间呢，这就涉及到了一个时间基准的概念。

常用的时间参考基准体系有：世界时(UT)、原子时（AT)、协调世界时（UTC)、GPS 时等。我们日常所用的北京时间既不是原子时（AT)，也不是世界时（UT)，而是参考协调世界时(UTC)偏移8个时区的，也就是北京时间＝UTC 小时＋8。

我们可能更迫切地想知道从哪里才能获取这些准确的时间呢？记得小时候，每当整点钟时，正在接收广播的收音机便会播出“嘟、嘟……嘀”的响声，收音机的整点报时就是人们获取准确时间比较容易的来源之一。不过，广播电台里的正确时间是哪里来的呢？它是由天文台精密的原子钟来控制的，在每天的一定时间，例如，整点时，通过电台广播出去，我们就可以去校对自己的钟表，或供其他工作的需要。

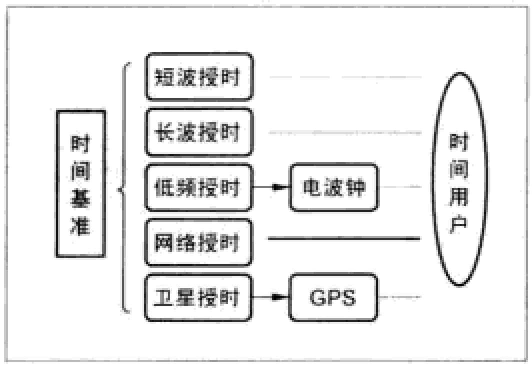


图1 授时系统结构图

目前，世界各国都采用原子钟来产生和保持标准时间，这就是“时间基准”，然后通过各种手段和媒介将时间信号送达用户，这些手段包括:短波、长波、电话网、互联网、卫星等，这一整个系统，被称为“授时系统”，见图 1。在接下来的内容里，我们即将打造的这个装置也可被看作是一个小小的二级“授时系统”。

在手机和电脑尚未大量普及的年代，大家参照广播、电视校对钟表。随着科技的进步，现在人们有更多、更方便、更准确的获取途径了：手机（CDMA网络高精度的自动校时）、电脑（网络时间协议<NTP>实现时间同步）、钟表（电波钟：低频时码授时）等，这些方式获取的时间参考基准也是基于协调世界时UTC的。平常，在一些厂矿、车间、医院、车站、学校等场所，我们会发现各式各样的时钟，为了保证这些时钟显示时间的一致，一般是通过建一个主钟系统（母钟），通过有线、无线等方式连接到安放在各处的时钟（子钟），让它们保持时间显示的一致。这种系统由专业的钟表厂设计生产，价格比较昂贵，对于我们这些业余爱好者来说，买一套不太现实。

在我们的家庭生活中，也少不了时钟，一般客厅会有个大点的时钟，卧室、书房也会有小的时钟。特别是我们这些电子 DIY 爱好者，可能拥有的各种各样 DIY 的电子时钟就更多了，LED 8 字的、LED 点阵的、液晶的、辉光的、荧光的……这些钟（电波钟除外）精确程度不一，显示的时间更不可能都一样，有时确实让人觉得有点无奈。我们能让它们显示的时间都一样吗？答案是肯定的——其实我们可以花很少的资金，打造一套家庭使用的高精准 GPS 无线同步校时子母钟系统。

◎段卫军

GPS无线同步校时母钟系统设计思路

GPS无线同步校时系统的关键是主钟（以下都称为母钟）的设计和规划，特别是考虑到以后不管制作哪种类型的时钟，都能够通过母钟实现同步，这就需要制定一个简单的同步通信协议和机制。下面我就详细介绍一下母钟的系统原理、选型原则、软硬件设计思路等（说明：由于我们日常使用的时钟，一般最多显示到秒位，加上单片机处理、显示、传输时延等因素，业余条件下很难做到微秒、纳秒级的显示精度，在设计中我们主要通过硬件的选择保证误差不累积，通过软件的处理来尽量减少显示上的误差）。

时间基准选择

目前我们比较方便、便宜地获取时间基准的途径主要有互联网、电波钟模块、铷原子钟（二手的）、GPS模块等。根据价格、精度、编程是否容易、实现是否方便等方面所做的比较，我将它们的优缺点列于表1。

表1

	缺点	优点	精度
网络授时	利用MCU实现，需要一些外围硬件，编程复杂	一般家庭都具备网络资源	小于200ms
电波钟模块（BPC码）	易受干扰，目前中国标准的BPC码涉及专利，未开放	便宜，编程相对容易	小于1ms
铷原子钟（二手的）	体积较大、耗电很大、铷泡有使用寿命	二手的价格便宜，精度可以达到很高，编程容易	小于10ns
GPS模块	需要有外接天线	比较便宜，精度较高，编程非常容易	小于1μs

综合各方面的因素考虑，GPS是我们最合适的选择。目前，市场上各种类型的GPS-OEM模块很多，特别是业余制作时选择的二手GPS模块，价格非常之低。利用GPS模块进行简单的二次开发，就可以精确获得GPS时间信息。

GPS（Global Positioning System）全球定位系统是利用美国的24颗GPS地址卫星所发射的信号建立的导航、定位、授时系统。美国政府已承诺，在今后相当长的一段时间内，GPS系统将向全世界免费开放，我们可以放心使用。现在的GPS授时精度一般可以保证在1μs的误差以内，而且美国政府有专门的机构、人员时刻对卫星进行监控、修正，这个时间误差只会波动而不会累积，这个精度对于我们业余使用绰绰有余。

怎样从GPS获取准确时间

GPS模块通常使用NMEA-0183协议的TTL电平格式输出，数据为ASCII码字符（也有厂家自己定义的二进制输出格式），单片机能非常容易地判别、分离所需的数据。NMEA-0183是美国海洋电子协会为海用电子设备制定的标准格式，目前广泛使用V2.0、V3.0版本。NMEA-0183主要语句中，最常见的几种格式为：

GPGGA GPS定位数据

GPGLL 地址位置和经纬度

GPRMC 日期和时间

GPVTG 方位角对地速度

……

在这里，我们需要提取UTC时间信息，使用“GPRMC”的数据即可满足，如果还需要卫星的定位信息，也可以利用“GPGGA”的数据来提取。大部分GPS模块都有“GPRMC”这个信息数据输出，不同版本NMEA协议的数据输出在格式上有点细小的差别，一般不会影响使用，在编程时注意就行了。“GPRMC”的详细定义可到无线电网站www.radio.com.cn上下载了解。

在校时系统制作过程中，我们只需要利用“$GPRMC”输出信息，系统中

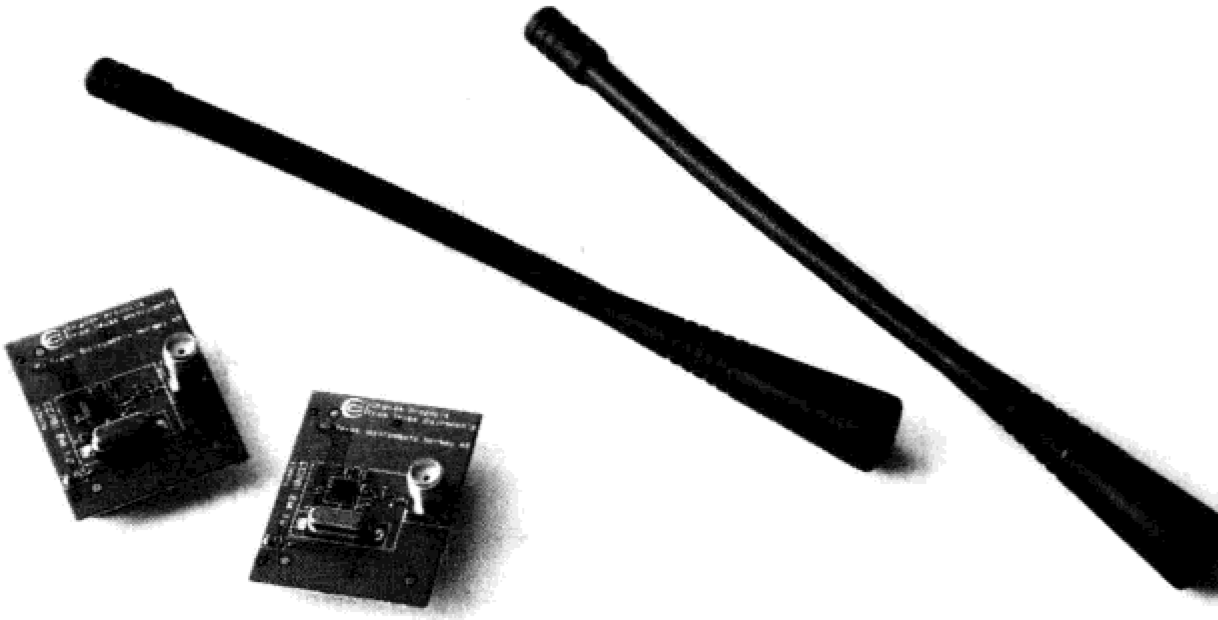


图2 基于CC1101设计的开发模块

的单片机程序读取相应的字段1、字段2、字段9的数据来进行处理。在数据缓冲区，程序首先分析字段2是“A”还是“V”，以判断GPS模块是否定位，时间信息是否同步。因为在未同步状态下，时间信息的精度是不能确定的，也是不准确的。在保证GPS模块和卫星同步的情况下，将字段2（UTC时、分、秒数据）、字段9（UTC 年、月、日数据）进行显示处理或者同步发射。在这个环节中，因为输出的串行NMEA协议的ASCII码数据中的时间信息受串口速率、输出信息的多少以及UTC时字段显示的毫秒数都是不均匀的，所以时钟显示的精度只能保证误差在1s以内，这也是很多朋友自制GPS时钟所能保证的精度，好在这种误差不会累积，作为普通时钟在我们日常生活中完全够用。

当然，够不够用是一码事，能不能提高精度是另外一码事。如果在不花费太大的成本下利用现有的硬件加上软件的处理就能提高精度，何乐而不为呢？这种想法是不难实现的。

首先我们在选择GPS模块时，可选择有1PPS脉冲信号输出引脚的。笔者实际接触到的GPS模块不下20种，大部分都有1PPS脉冲信号输出。什么是1PPS脉冲信号？1PPS（1 PULSE PER SECOND，即秒脉冲）是指GPS模块在定位状态下每秒中输出的正脉冲信号，其上升沿与输出的UCT标准时间的整秒同步，其误差在正、负1μs之内。在NMEA语句输出的UTC时间数据中 “hhmmss.sss”不会是一个整数，只有在随后的1PPS脉冲信号的上升沿到来的时刻，表示的时间“hhmm（ss+1）.000”才是整数。这样，我们可以利用1PPS脉冲的上升沿触发MCU的外部中断来实现时间的整秒显示，就可以达到很高的精度。

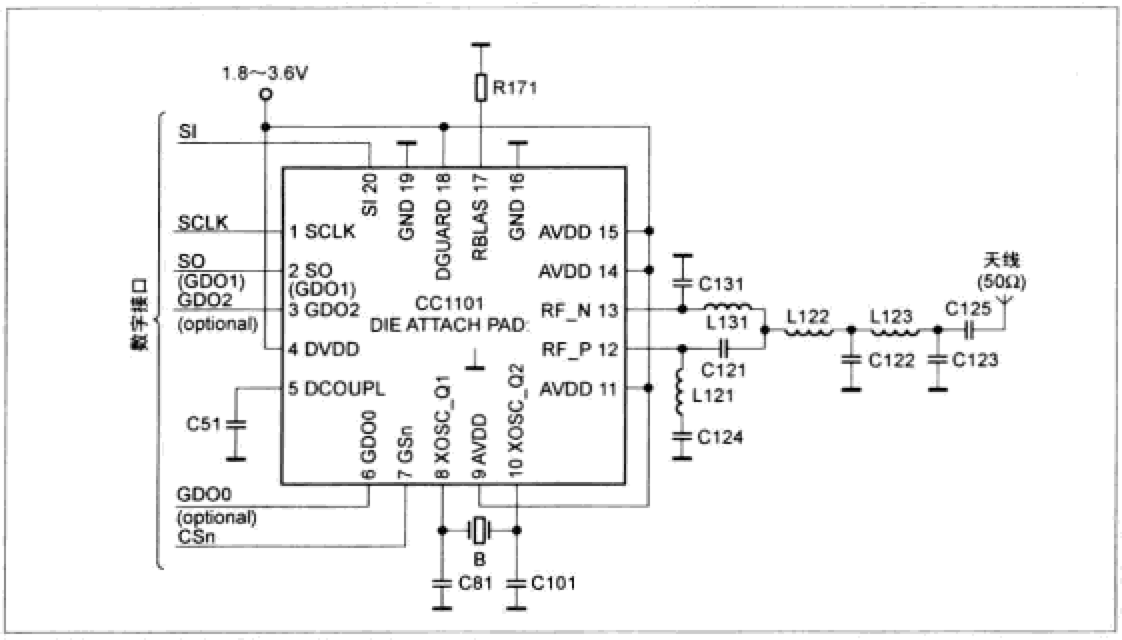


图1 CC1101的典型应用电路（315/433MHz）

理论上虽如此，但实际中还是有误差存在的，多方面的原因将导致没有绝对意义上的精确时间存在。比如，从MCU中断触发到扫描显示输出的程序运行是需要时间的，虽然时间非常短，但也确实会产生时延，影响了时钟显示的精度。在实际中，通过以上这种方法可以控制时钟的显示误差在10ms以内，作为时钟这已经很精确了。其实，大家平常获取的广播报时、电视上显示的时间信息，中途可能经过几个环节的调制、解调、中继、传输、显示，等我们获得时间信息时，那个误差已经不小了。笔者实际比较过，有些广播报时误差竟然在3s以上。相比之下，我们这个GPS授时系统就精准很多了。

同步校时方式的选择

虽然我们可能只在家庭使用，也就是楼上楼下、左邻右舍的小范围，但我们还是不希望仅仅为了一个时钟，重新凿墙布线，所以我们第一考虑的校时方式就是无线同步，通过射频通信（ISM频段，短距离通信，无需审批）方式校准子钟。

为了保证这个制作容易实现，笔者主要考虑使用现成的模块。市面上成熟

的无线通信技术很多,我只选用了这4种使用量比较大的模块进行测试：蓝牙模块（2.4GHz）、NRF24L01（2.4GHz）、NRF905(433MHz)和CC1101(433MHz)。我考虑的主要选型原则是：

◇ 可靠通信距离100m左右；

◇ 通信速率至少满足同步数据需要；

◇ 比较成熟、稳定；

◇ 价格尽量低。

在测试时，笔者发现2.4GHz频段的模块在实际通信中的有效距离都很小，均在10m以内，而且在建筑物内受墙体阻隔的影响较大。在进行了一些简单的测试后，笔者首先排除了使用2.4GHz频段的蓝牙模块和NRF24L01模块。而NRF905和CC1101无线模块的实测有效距离比较令人满意，虽然还与理论上的通信指标有一定差距，但考虑到通信环境都比较复杂，能达到100m已经不错了。特别是CC1101模块在低速1.2kbit/s通信时，可以达到200m以上。更重要的是，CC1101模块价格更低廉，所以最后选用了CC1101作为无线校时同步的传输模块。

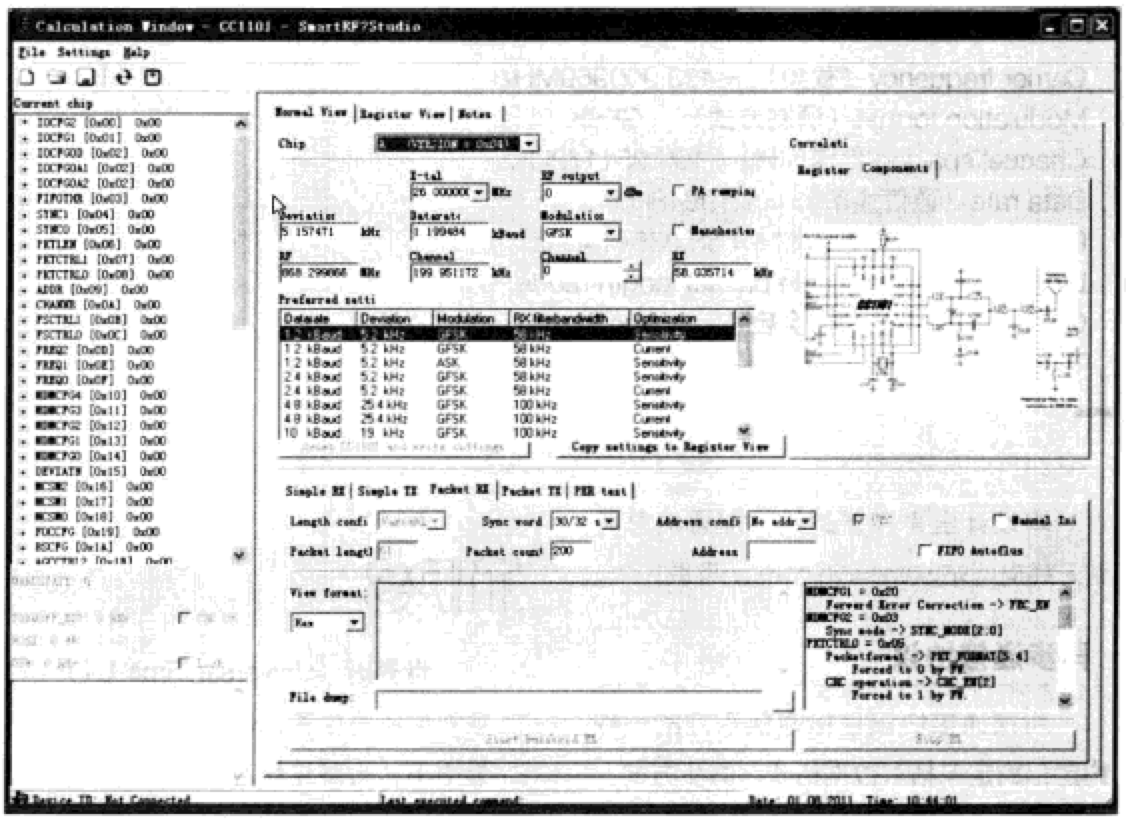


图3 SmartRF Studio射频仿真软件

CC1101是TI公司生产的一种单片、低成本的UHF频段无线收发器，基于IEEE 802.15.4标准开发，是之前CC1100的改进版本，它可以工作在315MHz/433MHz/915MHz ISM频段 。该芯片具有无线电唤醒(WOR)、数据包处理、数据缓冲、突发数据传输、清晰信道评估、链接质量指示等功能，内部的参数寄存器和数据传输FIFO可通过SPI接口控制，所需的周边器件很少，使用简单。受限于发射功率和天线结构，CC1101的视距传输距离一般在300~500m范围内，通过使用中继设备和放大设备对无线信号进行放大、转发，可以使通信距离达到1km至几十千米以上。

CC1101编程要点

CC1101拥有卓越的数据包处理能力，发送时，只需简单设置寄存器，当用户往CC1101内的TXFIFO缓冲区写入数据后，器件自动在数据包内增加前导字节(长度可控)、同步信息、CRC16校验，并根据寄存器设置，将FIFO内写入的头两个字节数据标志为长度信息(可选)和地址信息(可选)。接收状态下，器件自动侦测前导码、同步码、地址信息和计算并比较CRC16。此外，CC1101还支持可变长数据包格式和交织功能。这些原本需要复杂算法、巨大运算量和存储空间的功能由硬件支持，使得MCU的编程难度大大降低，其负荷也大为减轻，对时间信息处理的时延也更小。

但CC1101的寄存器众多，包括状态寄存器就将近80个，若手动配置容易出错，加上无线设备业余调试起来不会有很直观的结果，会让初学者觉得一头雾水，难以下手。因此，TI公司提供了SmartRF Studio射频仿真软件（图3），该软件可根据设计的需求(包括频率、速率、调制方式等)，自动给出一组最佳的寄存器配置参数，并直接导出所需要的配置数据，在程序编制过程中调用就可以了，这就大大地简化了程序的编制和调试难度，极大地加快了系统的开发。但需要注意的是，CC1101器件处于idle状态时才能对寄存器进行配置，CC1101的数据接口与控制接口复用。传输数据或命令主要依靠访问不同寄存器进行区别，地址与命令、数据则是依靠时序区别。

还有一点要注意的是，CC1101有2个64字节的FIFO缓冲区，一个是接收数据缓冲区(RX FIFO)，另一个是发送数据缓冲区(TX FIFO)。FIFO控制器能侦测RXFIFO是否上溢和TX FIFO是否下溢。但是写FIFO时，MCU必须控制TX FIFO是否产生溢出，读RX FIFO时，MCU也必须避免读空值。

在这个校时系统中，数据传输量很小，发射和接收可以使用较低的速率，这样也可以提高信号抗干扰能力并延长通信距离。CC1101在速率1200bit/s时通信距离最远、抗干扰能力最强，通过SmartRF Studio选择速率，会自动生成相关的寄存器配置数据，极大地简化了繁琐的计算过程。本系统发射部分的主要参数如下（自制的同步子钟也可以参考数据1）：

程序1

Carrier frequency（载频） = 433.999969MHz
Modulation format（调制方式） = GFSK
Channel spacing(信道间隔) = 199.951172kHz
Data rate（通信速率） = 1.19948kbit/s
RX filter BW（滤波带宽） = 58.035714kHz
Length config = Variable packet length mode.
CRC enable（CRC校验启动） = true
TX power（发射功率）= +10dBm

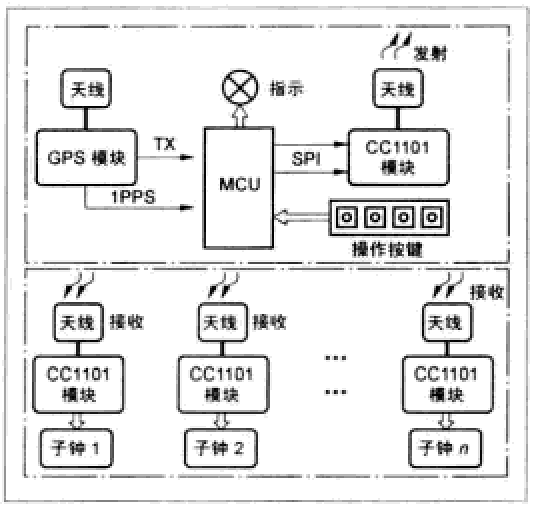


图4 无线校时子母钟系统方框原理图

本设计里寄存器的具体配置信息可到无线电网站www.radio.com.cn下载。

同步通信协议

所谓通信协议是指通信双方的一种约定，约定包括对数据格式、同步方式、传送速度、传送步骤、检纠错方式以及控制字符定义等问题做出统一规定，通信双方必须共同遵守。在这个系统中，子、母钟就是通信双方，母钟要能将准确的时间信息在最快的时刻告知各子钟，子钟立即对时间信息进行处理、显示出来。

母钟在将时间信息打包、传输的过程中都要花费时间，为了尽量减少这种时延，在保证可靠通信的前提下，通信协议也应该尽量简单、传输的数据尽量少。

前面我们在选择CC1101模块时，也是重点看中了它拥有的卓越的数据包处理能力。发送时，MCU只要往CC1101内的TXFIFO写入数据后，CC1101会自动在数据包内增加前导字节(长度可控)、同步信息、CRC16校验，这些原本需要复杂算法、巨大运算量和存储空间的功能由硬件支持，MCU的负荷大为减轻。

本子母钟系统的同步协议消息格式共16个字节，详细信息可在无线电网站www.radio.com.cn上下载。

在任何一个子钟收到同步时间信息时，通过接收中断触发，立即进行修正、显示等处理，达到同步校时的目的。笔者设计的无线校时子母钟系统方框原理图如图4示。

TIPS

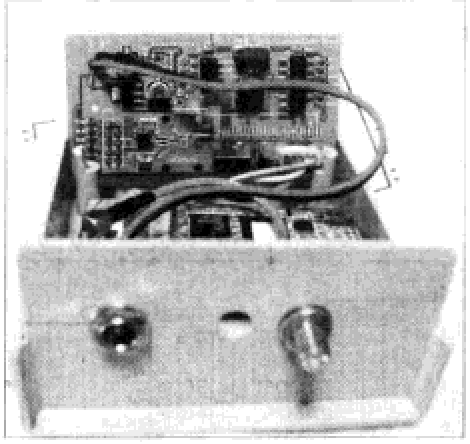
世界时（Universal Time-UT）：基于地球自转的一种时间计量系统，反映了地球在空间的位置，以子夜零时起算的格林尼治平太阳时称为世界时，在地极移动的影响下，太阳连续两次经过格林尼治子午圈的时间间隔并不均等。此外，地球自转速度也不均匀，它不仅包含有长期的减缓趋势，而且还含有一些短周期的变化和季节性变化。因此，世界时也不均匀。从1956年开始，在世界时中加入了极移改正和地球自转速度的季节性改正，改正后的世界时分别用UT1和UT2表示。世界时UT2虽经过以上两项改正，但仍含有地球自转速度逐年减缓和不规则变化的影响，所以世界时UT2仍是一个不均匀的时间系统。

原子时（Atomic Time-AT）：随着科技的发展，人们对时间稳定度的要求不断提高。以地球自转为基础的世界时系统已不能满足要求。为此，从20世纪50年代起，便建立了以原子能级间的跃迁特征为基础的原子时系统。原子时秒长定义为：位于海平面上的铯原子基态两个超精细能级间，在零磁场中跃迁辐射振荡9192631770周所持续的时间，为1原子秒。原子时的起点定义为1958年1月1日零时的UT2（事后发现AT比UT2慢0.0039s）。国际上用约100台原子钟推算统一的原子时系统，称为国际原子时系统（IAT）。

协调世界时（Coordinate Universal Time-UTC）：它从1972年开始，采用以原子时秒长为基础，是一种在时刻上尽量接近于世界时的折中的时间系统。UTC的秒长严格等于原子时的秒长，采用闰秒（或跳秒）的办法，使协调时与世界时的时刻相接近。当协调时和世界时的时刻超过±0.9s，便在协调时中引入——闰秒（正或负），闰秒一般在12月31日或6月30日末引入，具体日期由国际地球自转服务组织（IERS）安排并通告。

GPS时（GPST）：GPS时属原子时系统，其秒长与原子时相同，原点定义为1980年1月6日零时与协调世界时的时刻一致，启动后不跳秒，保证时间的连续。以后随着时间积累，GPS时与UTC时的整秒差以及秒以下的差异通过时间服务部门定期公布。由GPS时间的周和秒减去闰秒的调整时间，得到UTC时间的周和秒，可以换算得出UTC时间的年、月、日、时、分、秒。为了得到精密的GPS时间，每个GPS卫星上都装有铯子钟作为星载钟，同时GPS全部卫星与地面测控站构成一个采用UTC为参考基准的闭环自动修正系统。

◎段卫军



简易版GPS无线同步校时母钟的制作

本文中，笔者主要介绍如何制作一款相对简单的GPS无线同步校时母钟。

元件选择

1. GPS模块

在这个简易版的母钟系统中，笔者的目标是：利用现有的资源，花费最少的资金来实现系统功能。GPS模块可以从一些淘汰的导航、车载定位系统中找到，在二手电子市场花30～100元就可以买到各种型号的GPS模块，因为作为时间而不是导航使用，对GPS模块的芯片厂家、芯片代数等要求并不高，只要能输出标准的NMEA协议数据就可以了，如果你手上有现成的高级模块更好。一些年代久一点的GPS模块在和卫星同步时花的时间长些，对外接天线的要求也高一些，但其最大的优势是价格便宜，而且容易获得。

一些大厂家的GPS模块，直接通过数据手册就可以找到模块对应的引脚资料，而有些杂牌的GPS模块可能根本找不到任何资料。面对杂牌GPS模块，笔者一般首先根据板上的滤波电容来确定模块的正、负供电引脚，然后利用示波器可以很快地找到GPS模块的TX或者1PPS引脚，只要确定了这几个信息，这个模块就可以用起来了。

为了保证系统能适应大多数的GPS模块，笔者收集了市场上能找到的20多种GPS模块进行测试，发现在系统设计时要注意以下几种情况：

◇ 模块数据输出速率有4800bit/s或9600bit/s的；

◇ 并不是所有模块都有1PPS秒脉冲信号输出引脚；

◇ 模块的供电有5V、3.3V的；

◇ 有些模块的“$GPRMC”输出的字段1的数据已经是北京时间，而不是UTC时间。这些我们可以通过在程序上和电路设计进行处理，以使其正常使用。

2. CC1101模块

CC1101可以工作在315MHz/433MHz/915MHz频段，通过外围元件的选择和寄存器数据的配置就可以工作在对应的频段。因为工作在高频，CC1101对外围元件的要求较高，高精度元件以及高频设计的要求对业余条件下的制作有一定困难，难以保证正常使用。笔者直接选用市场上广泛使用的433MHz频段的CC1101模块，在实际测试中发现，母钟的发射部分和各子钟的CC1101模块应尽量选用同一厂家的模块，这样可以达到最大的通信距离指标。

通过测试，笔者最后选择了一款CC1101模块，其螺旋天线是镀银的，

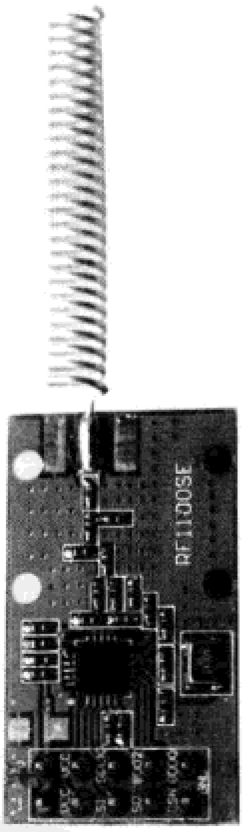


图1 笔者选择的CC1101模块

表1

引脚编号	引脚名	功能描述
1 2	VCC	电源输入1.9～3.6V
3	SI	数据输入
4	SCLK	时钟输入
5	SO	数据输出
6	GDO2	数据输出
7	CSN	芯片选择
8	GDO0	数据输出
9 10	GND	电源地

高频传输效果更佳，见图1，其引脚定义如表1所示。

电路规划设计

结合上面的一些实际情况，电路规划如下：

1. MCU选择AVR的ATmega8L，为了保证MCU和GPS模块串口通信准确、可靠，使用外部11.0592MHz晶体振荡器。

2. 本母钟不考虑时间显示，仅对GPS模块同步与否和CC1101模块是否发射通过LED进行指示，简化MCU程序处理。在GPS模块未定位时，绿灯闪烁，定位后绿灯常亮。同步信息发送时，红灯亮3s。

3. MCU接收GPS模块的数据速率为4800bit/s、9600bit/s，可以跳线设置。

4. 同步发送间隔通过跳线进行设置，可在1~60min选择。

5. 考虑到有些GPS模块没有1PPS信号输出，通过跳线可以选择有无1PPS信号。

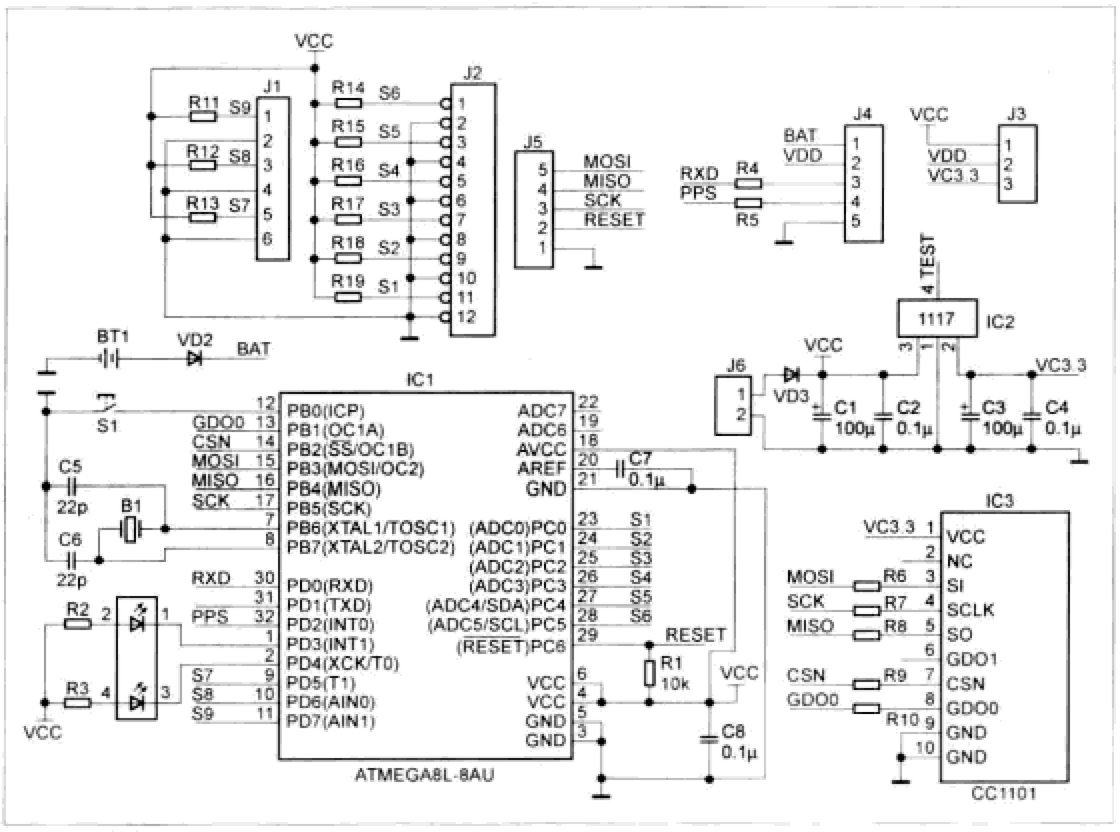


图2 母钟电路原理图

6. 考虑到有些GPS模块输出的时间信息是北京时间，通过跳线可以选择是北京时间还是UTC时间。

7. 按键SB1为强制发送按键，在测试系统发射是否正常时，每按SB1一次，即使GPS模块未定位，系统也强制发送时间同步信息一次。电路设计如图2所示。

制作该电路所需元件如表2所示。

在本电路中，笔者并没有指定使用哪种型号的GPS模块，在设计时就考虑到兼容市面上能见到的NMEA输出格式的各种GPS模块，大家手头有什么就使用什么。在电路上通过插件J4可灵活地连接GPS模块。关于本电路中的插件、跳针要作以下说明。

J1：3排插针，分别用于波特率、PPS、时间格式的选择。当全部不插跳线帽时，代表9600bit/s波特率、有1PPS信号输入、GPS输出的是UTC时间。当全部插跳线帽时，代表4800bit/s波特率、无1PPS信号输入、GPS输出的是北京时间。具体要根据使用的GPS模块的输出参数进行对应的设置。

J2：6排插针，用来设置多长时间通过CC1101模块发布同步数据的。6排分别代表1、2、4、8、16、32分钟，全部

表2　元器件列表

元件标号	封装	型号	数量	备注
R1	0805	10kΩ	1	
R2~R5	0805	1kΩ	4	
R6~R10	0805	2kΩ	5	
R11~R19	0805	10kΩ	9	
C1、C3		100μF	2	16V电解电容
C2、C4、C7、C8	0805	0.1μF	4	16V
C5、C6	0805	22pF	2	
VD1		发光二极管	1	红绿双色
VD2	1206	IN4148	1	
VD3		SS14	1	肖特基二极管
B1	49U	11.0592MHz	1	晶体振荡器
IC1	QFP32	ATmega8L	1	
IC2	SOT223	LM1117	1	3.3V
IC3		CC1101	1	模块
BT1		CR1220	1	3V备用锂电池
J1		2.54插针	1	双排3芯
J2		2.54插针	1	双排6芯
J3		2.54插针	1	单排3芯
J4		2mm插座	1	5芯
J5		2mm插座	1	5芯
J6		5.5mm	1	电源插座
S1		6×6	1	轻触按键

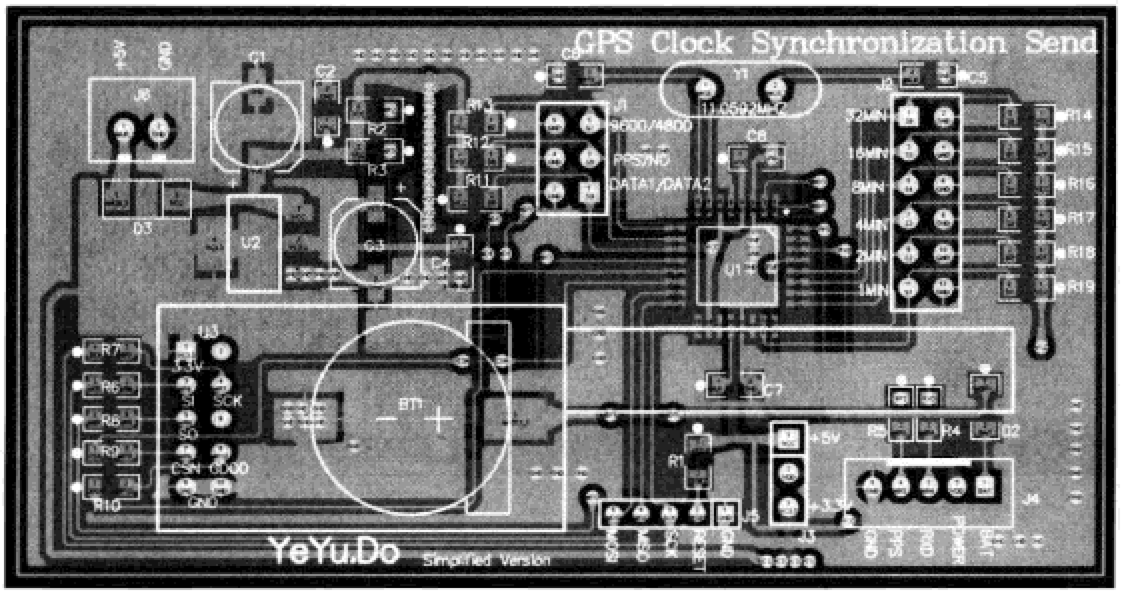


图4 母钟电路的PCB图

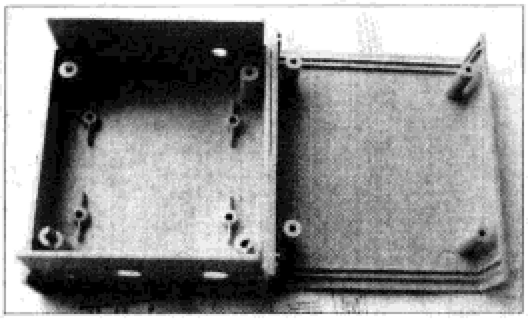


图3 装电路的塑料盒子

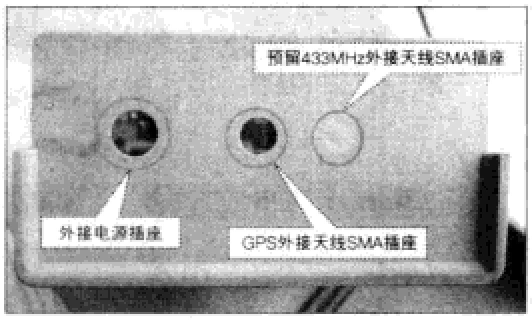


图5 在塑料盒子后挡板上铣出的圆孔

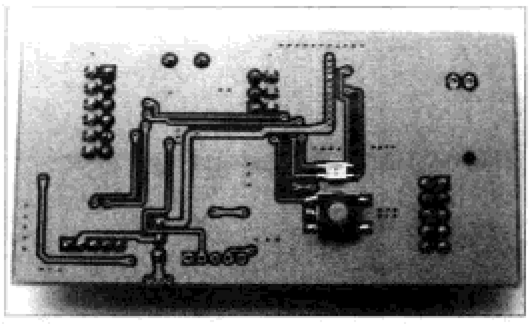


图6 电路正面

跳线帽不插时，代表 1 分钟，插入对应的哪位跳线帽就那个时间有效，需要多少分钟发射一次，根据跳线插入的排数进行相加即可。例如 1、3、5 插针上有跳线帽，那么会每隔（1+1+4+16=22）分钟，CC1101 模块发射一次同步信息（前提是 GPS 模块和卫星在同步定位状态下）。

J3：3芯插针，通过跳线帽来选择对GPS模块供电是5V还是3.3V。

J4：5芯插座，5根连线分别表示："BAT"连接GPS模块的时钟备用电池脚；"VDD"连接GPS模块的供电引脚正极，其供电电压是5V还是3.3V，由J3插针跳线选择；"RXD"连接GPS模块的信号输出脚"TXD"；"PPS"连接GPS模块的1PPS输出脚，如果模块没有1PPS输出，可以空着不接，地与GPS模块的地相连。

整体安装与调试

这个母钟制作完成后，在使用时考虑到GPS室外天线连接的情况，可能会放在靠窗边的角落，因此最好有一个外壳能把电路包装起来。制作时，我手边有一种塑料盒子，质量看上去不算太好，但内部空间比较大，前后都是单独的塑料挡板，也好拆卸，见图3。

在画PCB时，我初步估算了一下，这个挡板大小的PCB可以将原理图上的元件都排下（见图4）。为了操作方便，干脆将PCB作为前挡板，元件布设在内侧，按键和指示放在外侧。使用雕刻机将塑料后挡板铣出2个合适尺寸的圆孔，便于安装直流电源插座和GPS外接天线的SMA插座（见图5）。

焊好元件后的电路如图 6、图 7 所示。

将电路板插入外壳的卡槽中，从前后察看，尺寸刚好合适，如图8、图9、图10所示。

为了详细说明调试过程，笔者选用

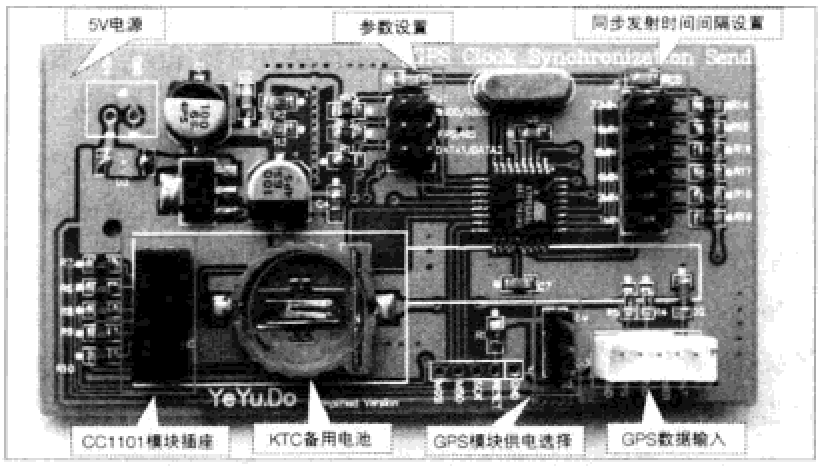


图7 电路反面

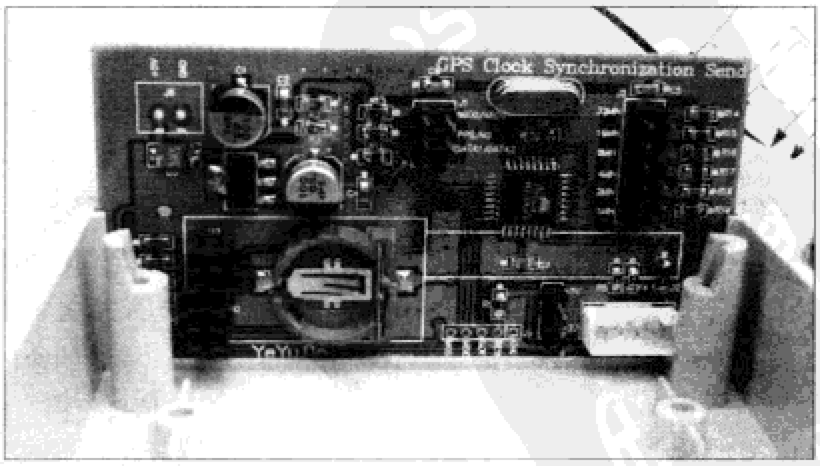


图8 将焊好的PCB放入塑料盒子的前挡板位置

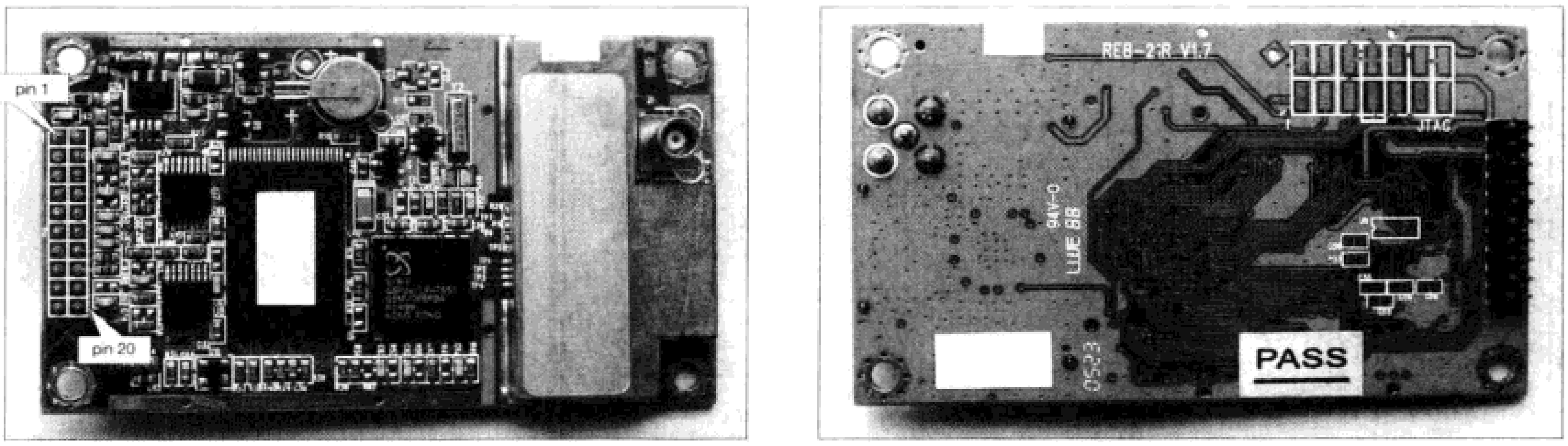


图11 一款二手的GPS模块

表3

引脚	标号	引脚	标号	引脚	标号	引脚	标号
1	VANT	6	N.C.	11	TXDA	16	GND
2	VCC_5	7	BOOT	12	RXDA	17	N.C.
3	VBAT	8	N.C.	13	GND	18	GND
4	N.C.	9	N.C.	14	TXDB	19	1PPS
5	RESET	10	GND	15	RXDB	20	N.C.

图12 MCX转SMA接口的转接跳线

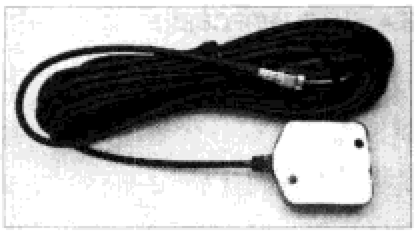


图13 对应SMA接口的GPS有源外接天线

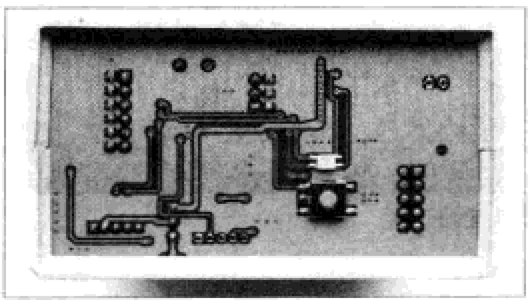


图9 前面板

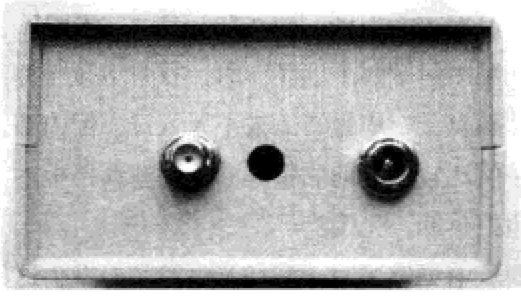


图10 后挡板

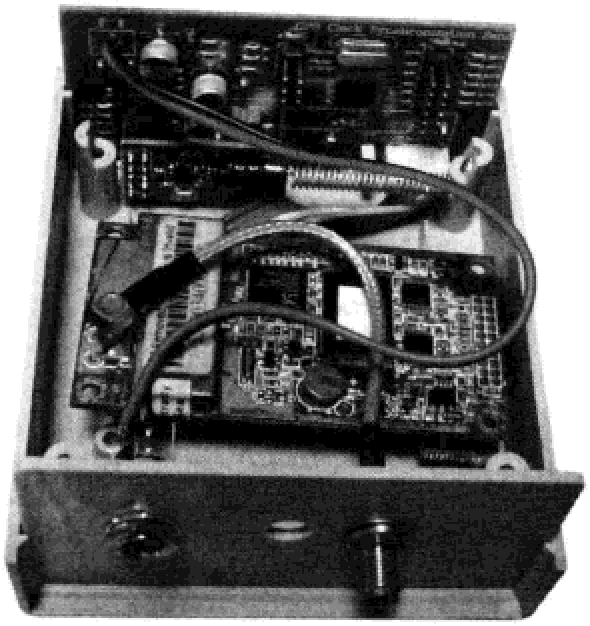


图14 安装好的盒子内部

手上现成的一款二手的鼎天REB-21R型号的GPS模块作介绍，见图11。大厂的模块很好找到模块资料，其引脚定义如表3所示。

在这个制作中，我们只要用到VANT、VCC_5、VBAT、TXDA、1PPS、GND引脚，GPS外接有源天线供电通常3～5V都可以，所以可以直接将VANT和VCC_5连接在一起，这样刚好将5根线通过J4插座接入。

从资料中知道，模块是5V供电，所以在电路板上将J3的跳线帽插在靠5V的那边。模块的输出速率是9600bit/s，有1PPS信号输出，输出时间是UTC时，都是缺省的，对应的插针空着就行。这个模块上的天线插座是MCX接口，而外壳上的对外插座是SMA接口，这就需要一根从MCX转SMA接口的转接跳线（见图12）。

另外，还需要找一根对应SMA接口的GPS有源外接天线，电缆长度根据实际情况选择。一般市面上买的现成的转接跳线的长度在3～5m（见图13，5m长度的）。

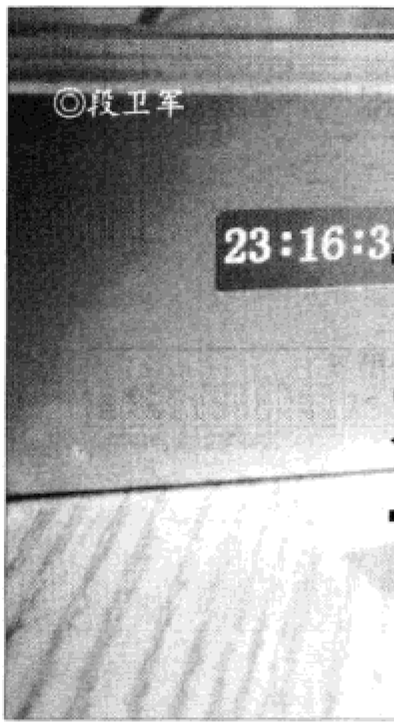
我选用的这个盒子空间很大，就算REB-21R这个大块头也很容易放进去。最后再将CC1101模块、外接天线都安装入内，就可以通电测试了（见图14）。

制作注意事项

1. 母钟供电是直流稳压5V，不要超过5.5V，外接电源插座是5.5mm规格，电源极性是内正、外负；

2. GPS外接有源天线接口选择内镙内针的SMA规格，供电电压为3～5V；

3. 选择的GPS模块在安装前先要测试好，供电电压、串口速率、时间格式、有无1PPS信号先要确定好，然后将板上的插针对应调整好。



◎段卫军

制作带显示屏的GPS无线同步校时母钟

前面制作的那款简易版本的母钟，都是利用跳线帽进行所有设置的，可能大家觉得不是很直观，下面我们再来制作一款带显示、设置菜单的GPS无线同步校时母钟。

这个母钟与上一个简易母钟的主要不同是：1. 增加了显示部分；2. 为了缩小体积，选定了2款型号的GPS模块。

显示模块的选择

我在选择使用什么来做显示时，也煞费苦心。为了使显示的信息尽量直观、明了，设置尽量方便，首先考虑使用点阵型液晶屏，这样可以显示汉字信息。测试了几款液晶屏，虽然显示没什么问题，但总觉得差点什么，直到有一天我看到OLED显示屏的显示效果后，立即就让我产生了“舍它其谁”的念头。

OLED，即有机发光二极管（Organic Light-Emitting Diode），又称为有机电激光显示（Organic Electroluminesence Display，OELD），其显示技术与传统的LCD显示方式不同，无需背光灯，具备轻薄、省电等特性。从2003年开始，这种显示屏在一些小型数码产品中广泛使用。最终我找到一款单蓝色的128×32分辨率的OLED屏（见图1），笔者使用的这个1.11英寸的OLED屏内部绑定的是PT6866驱动芯片，其驱动指令和SSD1305兼容，但其外围电路不同，如图2所示。

31个引脚定义如表1所示。

OLED屏一般需要外接驱动高压，我使用的这个屏需要7.5～12V的直流高压，电流10mA以内。笔者使用了PT1301做DC-DC变换，电压输出在9V左右，具体元件参数选择可以参考PT1301的数据手册进行计算。在驱动方式上，笔者为了使电路连接简单，使用了串行数据驱动，最终电路如图3所示，最终设计出的

表1

引脚	标号	说明
1、31	N.C.	空脚
6	VDD	电源正 3.3V
2、30	VSS	电源地
3、29	SEGG	接电源地
4	BVR	亮度电流参考
10	CCL	时钟源选择，接电源正
26	CL	外部时钟源，悬空
11	M/S	主从选择
25、27	DOF/FR	悬空
7	I/S	驱动方式选择：串口方式：7、8、9脚接电源地，并口方式：7、9脚接电源地，8脚接电源正
8	P/S	
9	CMPU	
23	RES	复位
24	CS1	片选
20	E	读写控制
21	R/W	读写数据
22	RS	数据、命令控制
12～19	D7～D0	并行数据输入。在串行通信时D7当SDA，D6当SCK使用

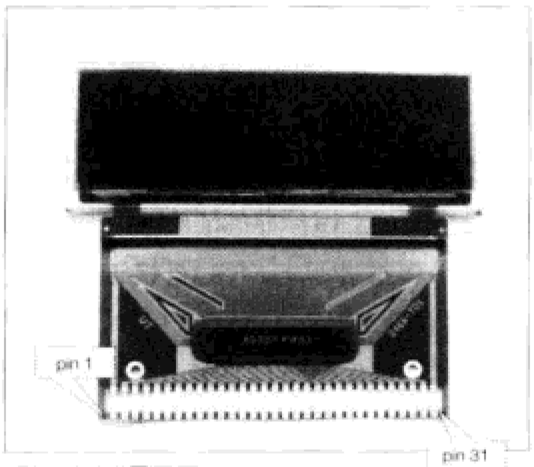
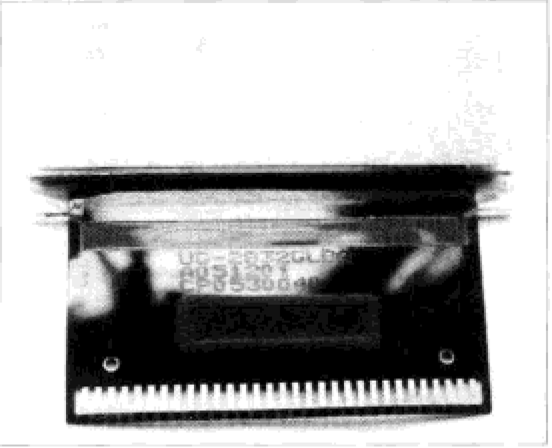


图1 OLED屏正面



OLED屏反面

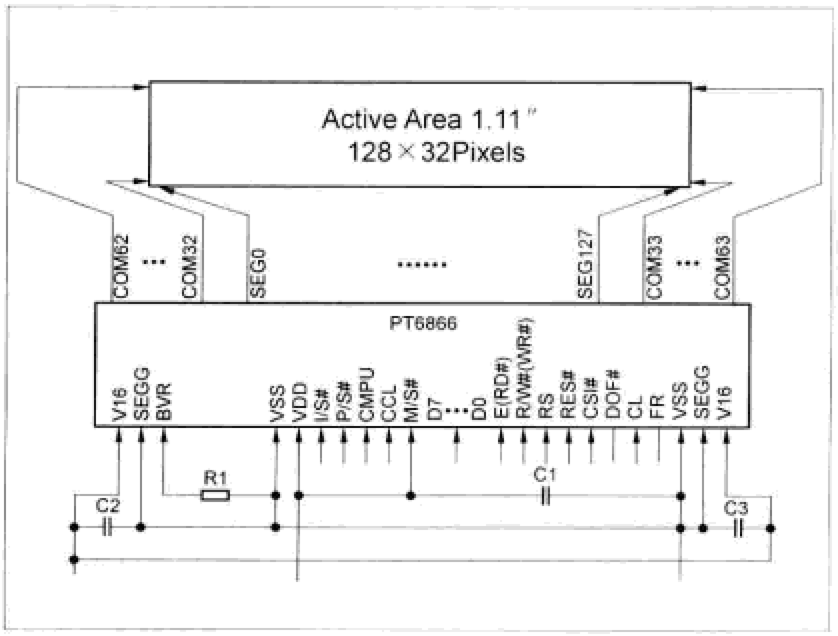


图2 PT6866驱动电路

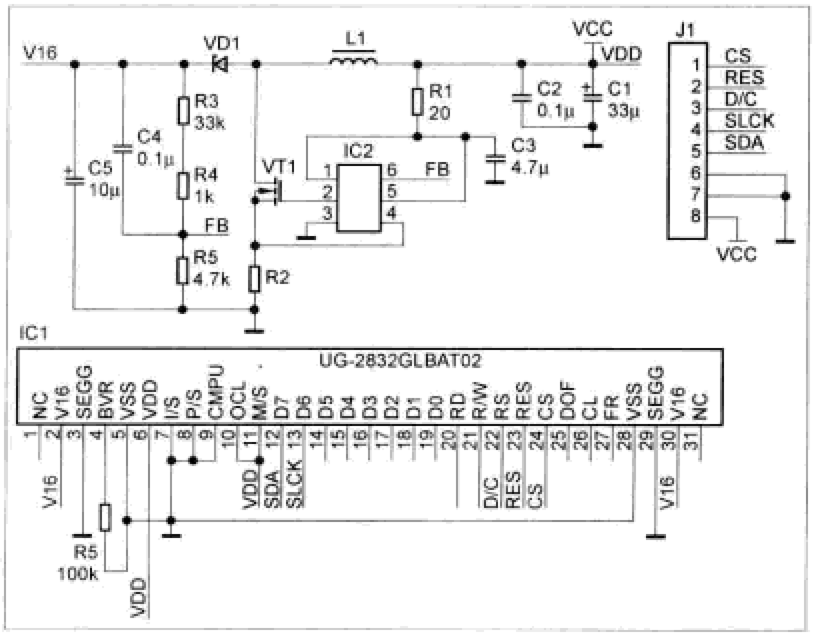


图3 显示驱动及供电电路

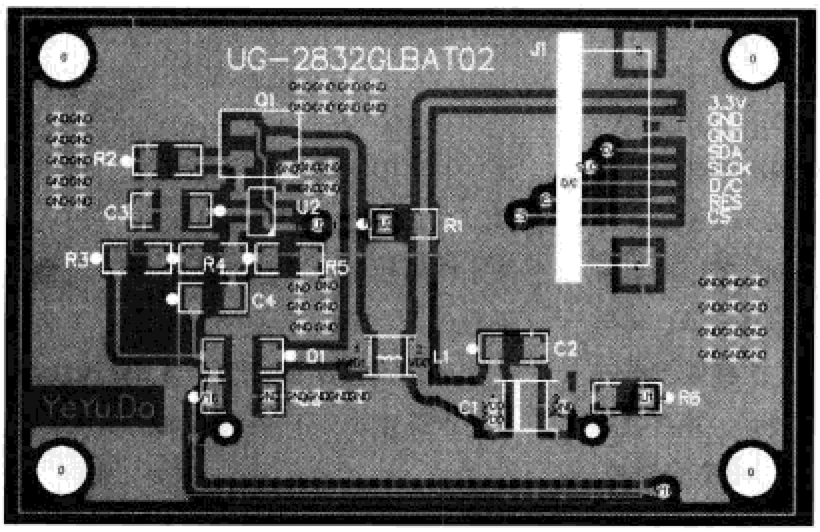


图4 显示驱动及供电电路PCB

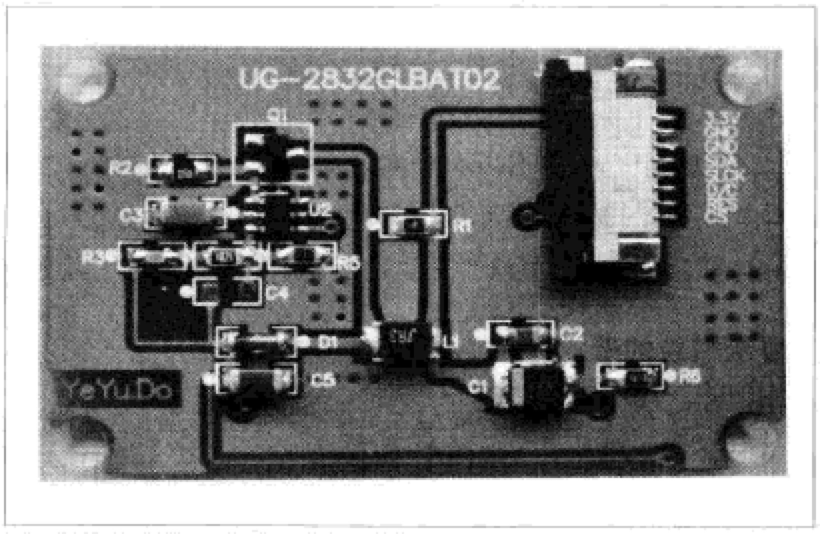


图5 焊接完成的显示驱动及供电电路板

表2 显示驱动电路元器件列表

元件标号	封装	型号	数量	备注
R1	0805	20Ω	1	
R2	0805	0.5Ω	1	
R3	0805	33kΩ	1	
R4	0805	1kΩ	1	
R5	0805	4.7kΩ	1	
R6	0805	100kΩ	1	
C1		33μF	1	贴片钽电容10V
C2、C4	0805	0.1μF	2	
C3	1206	4.7μF	1	
C5	1206	10μF	1	16V
VD1	1206	IN4148	1	
VT1	SOT23	SI2302	1	MOS管
L1		3.3μH	1	电感
IC1		UG2832	1	OLED
IC2		PT1301	1	
J1		8芯	1	1mm间距

PCB见图4。制作该电路所需的元件明细见表2。

看OLED屏的实物图我们会发现，其连接方式是那种比较娇气的柔性PCB焊接方式，每个焊脚之间的间距是1mm。在焊接时要非常注意，先将屏反面的双面不干胶保护纸揭去，对准PCB上的焊盘后小心地贴上去固定，再仔细快速地焊接，以免损坏焊脚而报废。为了防止在调试过程中因为外力造成引脚连接断裂，笔者使用一种柔软透明的硅胶将引脚进行了加固，效果不错（见图5）。

GPS模块的选择

在综合价格、体积、性能等因素后，笔者选择了采用丽台的LR9808或者天宝的Lassen SQ/IQ GPS模块，我的 PCB的设计可以兼容二者，任选其一焊上去即可，通信速率固定在9600bit/s。

LR 9808是Leadtek （丽台） 公司推出的一款功能强大、性能卓越的OEM模块。使用的是SIRF Ⅱ 7451芯片，具有结构小巧、性能优良等特点，低功耗12通道并行接收。接口采用串行TTL电平，数据格式可支持标准的NMEA-0183，不需电平转换即可与MCU直接连接。该模块的外部有金属屏蔽盖保护， 在嘈杂环境下可保证最佳性能。外形尺寸为24mm×20mm×5mm， 功耗为215mW，供电电压3.3V。

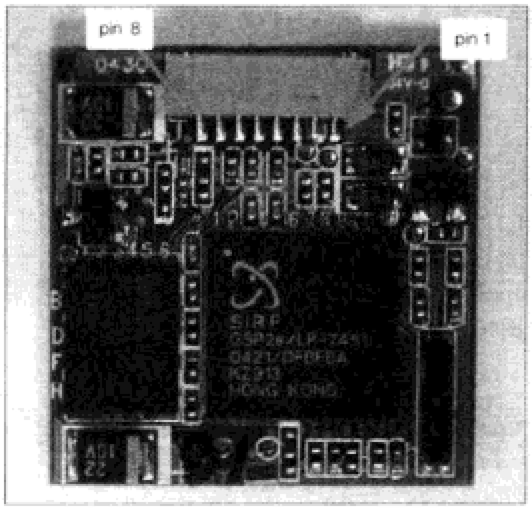


图6 GPS9808的引脚排列

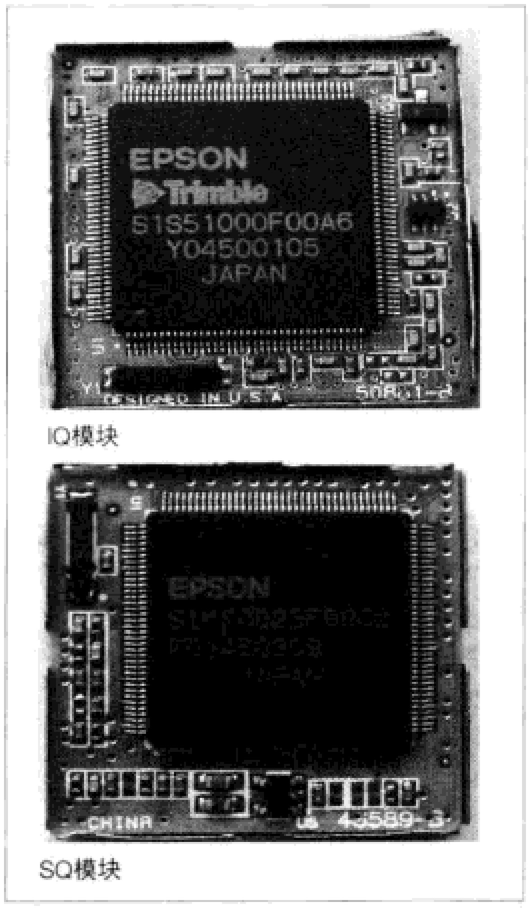


图7 美国Trimble商用GPS模块

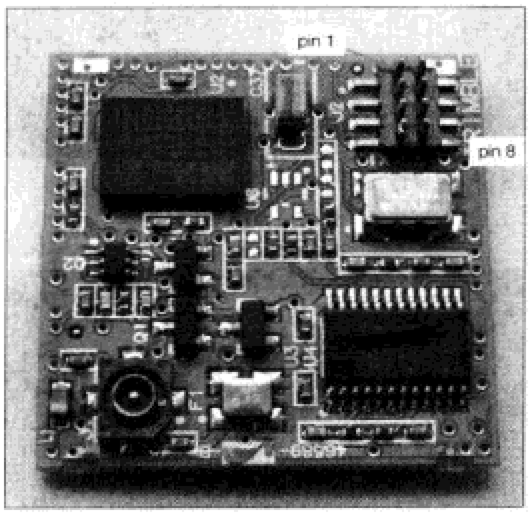


图8 SQ和IQ的引脚排列相同

表3

引脚	标号	功能描述
1	VSTBY	RTC和SRAM备用电源
2	GND	电源地
3	VCC	电源正，3.3V
4	TXDA	TTL串行数据发送
5	RXDA	TTL串行数据接收
6	ANTPWR	天线电源输入，可以接电源正
7	1PPS	秒脉冲输出
8	REST	复位，低有效

表4

引脚	标号	功能描述
1	TXDA	串口A发送，3.3 V TTL
2	GND	电源地
3	RXDA	串口A接收，3.3 V TTL
4	PPS	秒脉冲
5	TXDB	串口B发送，3.3 V TTL
6	RXDB	串口B接收，3.3 V TTL
7	VCC	电源正，3.3V
8	VBAT	RTC备用电源

GPS9808的引脚排列如图6所示，各引脚的功能如表3所示。

Lassen SQ/IQ是美国Trimble（天宝）公司生产的商用GPS模块，接口采用串行TTL电平， 数据格式可支持标准的NMEA-0183，该模块的外部也有金属屏蔽盖保护，内置有天线短路检测和保护电路。模块外形尺寸为26mm×26mm×6mm，功耗仅为120 mW， 供电电压3.3V。

IQ在性能上比SQ要好，最大的区别是：IQ是并行12通道，SQ是并行8通道。如果拆开就会发现，他们使用的芯片是不一样的，见图7。

SQ和IQ的外部尺寸、引脚排列都是一样的，可以完全兼容（见图8）。各引脚的功能如表4所示。

控制电路规划设计

控制电路系统规划如下：

1. 因为使用128×32OLED显示屏来显示，考虑到一些汉字的点阵信息需要占用不少空间，MCU选择AVR的ATmega32L，为了保证MCU和GPS模块串口通信的准确、可靠，使用外部11.0592MHz晶体振荡器。

2. OLED使用时间长了会有光衰的现象，为了尽量延长OLED屏的使用寿命，在程序菜单里可以对显示亮度进行16级调整，同时增加3组自动开关显示时段设置。比如可以这样设置：07点开显示—08点关显示、11点开显示—14点关显示、17点开显示—23点关显示。

3. 正常状态下，屏幕用大数字显示所设置时区的时间信息，右边用小字符显示同步卫星数量、时区、是否同步、发射次数等信息；

4. 程序菜单里可以对同步发送间隔进行设置，范围为1～99min；

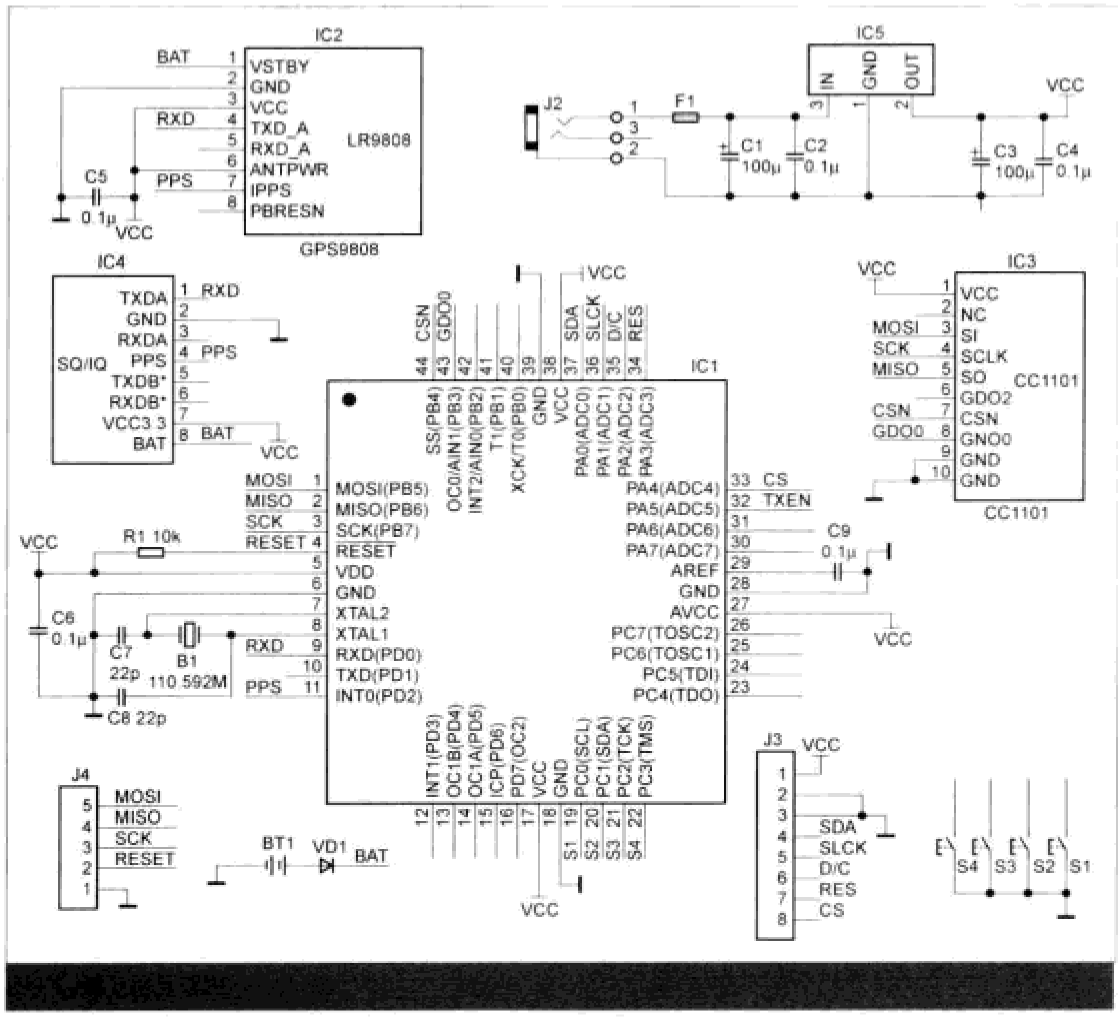
5. 程序菜单里可对24时区进行设置；

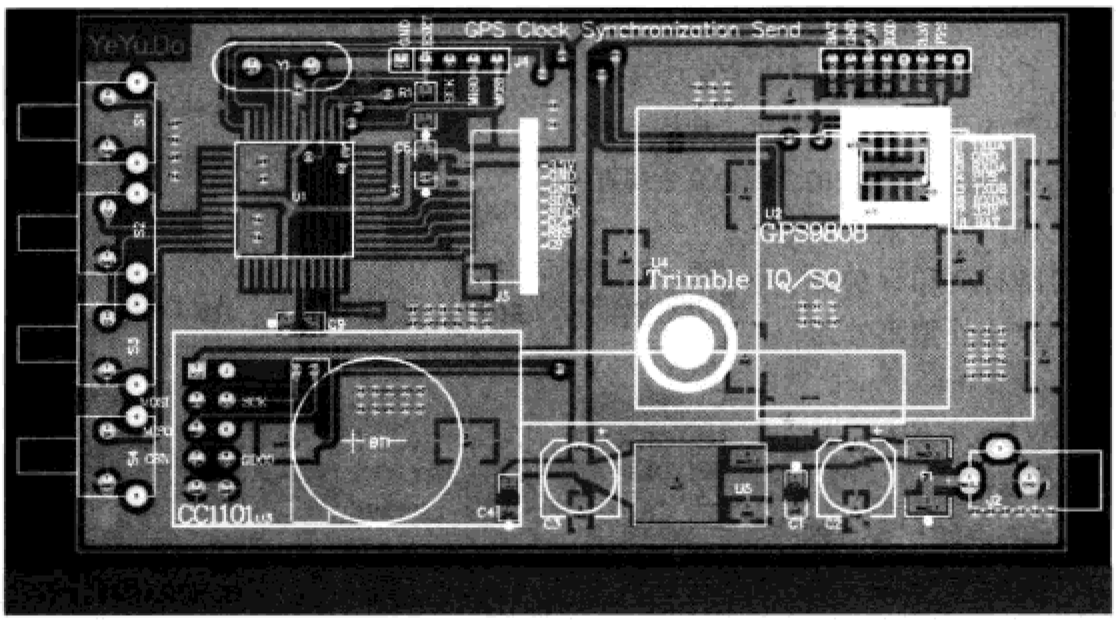
6. 安排4个按键，方便设置、操作。

设计的控制电路原理如图9所示，制作这个电路所需的元件见表5。

表5 控制电路元器件列表

元件标号	封装	型号	数量	备注
R1	0805	10Ω	1	
C1、C3		100μF	2	16V电解电容
C2、C4、C6、C5、C9	0805	0.1μF	5	16V
C7、C8	0805	22pF	2	
VD1	1206	IN4148	1	
F1	1812	500mA	1	自恢复保险
B1	49U	11.0592MHz	1	晶振
IC1	QFP44	ATmega32L	1	
IC2		LR9808	1	丽台GPS模块
IC3		CC1101	1	模块
IC4		Lassen SQ/IQ	1	天宝GPS模块
IC5	TO252	LD33	1	3.3V
BT1		CR1220	1	3V备用锂电池
S1、S2、S3、S4		6×6	4	轻触按键
J2		3.5mm	1	电源插座
J3		8芯插座	1	1mm间距贴片
J4		2mm插座	1	5芯





整体安装、调试

在绘制PCB的过程中，我也为这款母钟找了一个小的铝合金外壳（图10），仔细量好尺寸后，确定PCB的结构、外形尺寸，以保证最终制作好的成品PCB刚好能插入外壳的导槽内。

在绘制好的PCB上（图11），左边放置4个操作按键，右边放置一个外接电源插座。笔者使用游标卡尺仔细测量好开孔尺寸后，通过ArtCAM Pro软件（图12）生产刀路，导入MACH3控制雕刻机在铝板上铣出外壳两边的侧盖板以及侧盖板上的按键孔和天线、电源插孔（图13）。

同时还要使用雕刻机在面板上铣出一个方孔，以便安装OLED屏（见图

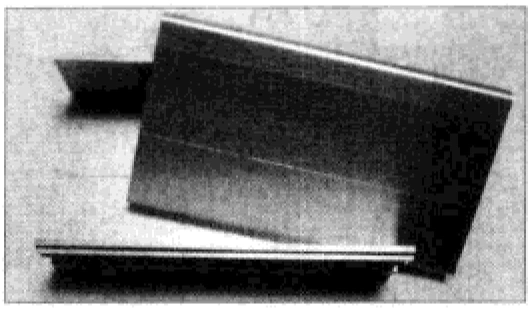


图10 我找到的铝合金外壳

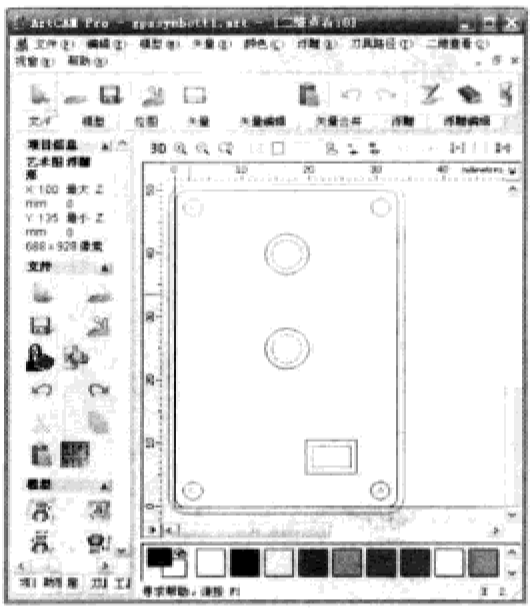


图12 使用ArtCAM Pro软件生成刀路

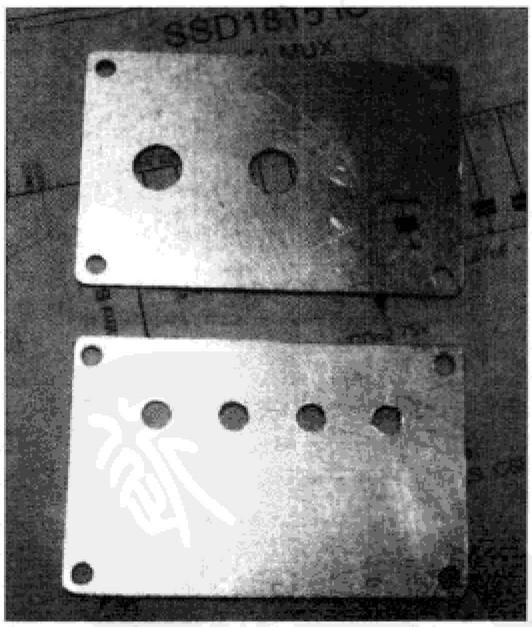


图13 用雕刻机在铝板上铣出外壳需要的孔

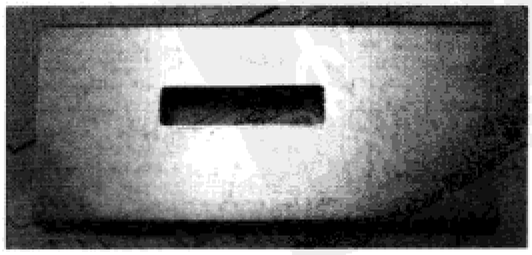


图14 用雕刻机在面板上铣出一个方孔

14）。将焊接好驱动的OLED显示屏测试无误后（见图15），对准铣好的方孔安装在前面板上，笔者使用透明的硅胶将它固定好（见图16）。

接下来，将主电路板焊接好后就可以组装起来了（图17）。OLED显示屏驱动板和主板之间是通过8芯的柔性FPC排线连接，拆卸、安装比较灵活、方便，连好排线后，将外壳和面板安装起来（图18）就大功告成，可以通电测试了。组装好后的实际效果见图19。

制作注意事项

1. 该母钟供电是直流稳压5V，不要超过5.5V，外接电源插座是3.5mm规格，电源极性是内正外负；

2. GPS外接有源天线接口选择内镙内针的SMA规格，供电电压为3～5V。因为该母钟是金属外壳，能屏蔽所有的无线射频信号，所以CC1101模块也是采用的外接天线。为了和GPS天线接口区分，防止插错，CC1101模块的433MHz外接天线选择的是内镙内孔的SMA规格。笔者选择的是一种吸盘式螺旋天线，电缆长度3m，见图20。

3. OLED显示屏比较娇气，在安装、焊接的过程一定要轻拿轻放，快速焊接，以免损坏。

子母钟同步测试

将母钟放在窗边，GPS有源外接天线放在窗户边或者窗外，若条件允许，尽量让天线所在位置的可视天空多一些，这样可以大大加快GPS模块的定位速度。笔者实际测试，有时1min就可以与卫星同步了，有时可能得20min才能与卫星同步，这与所在地当时天空的卫星所处的位置以及天线放置的环境都有很大关系，不过这对子母钟的工作没有什么影响。CC1101的外接天线可以随便放置，放置离地面高些，效果会好点。图21、图22是2个LED子钟和一个母钟在同步和未同步时的实物照片。

系统编程总结及改进

大家可以在今后自己的时钟制作中加入CC1101接收模块，使之成为一个跟随母钟同步校时的子钟。笔者也制作了一大一小两款LED点阵显示的子钟，测试效果非常不错，在小区楼房密集的环境中，实际同步距离可达150m，达到了设计目标。说简单点，子钟只是在普通时钟的基础上增加了一个CC1101模块，程序上做了一点简单处理而已。没有同步信号时，其显示和手动调节功能等与一般的时钟大同小异，这里不再赘述。最后，我重点总结、归纳一下母钟的GPS数据接收、CC1101同步数据发送，以及子钟CC1101同步数据接收模块的程序编制要点和改进思路，方便大家参考制作。

1. 母钟程序编制要点

（1）GPS 时间数据接收处理部分

GPS时间数据采用串口中断接收，中断可以保证对数据的及时接收处理，避免发生缓冲区溢出而丢失数据包。串口中断每触发一次，就可以从UDR寄存器接收一个字节。串口中断的处理程序比较简单，

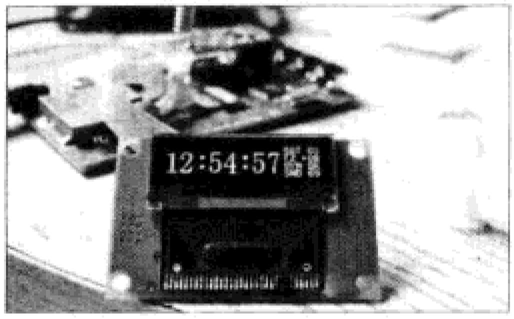


图15 测试焊接好驱动的OLED显示屏

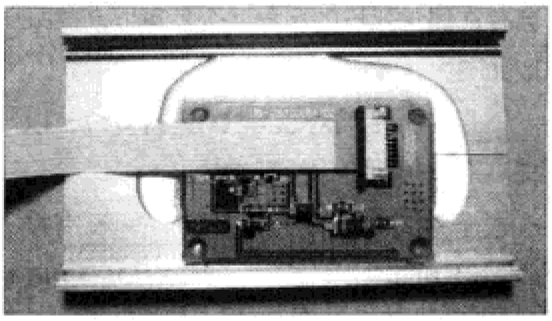
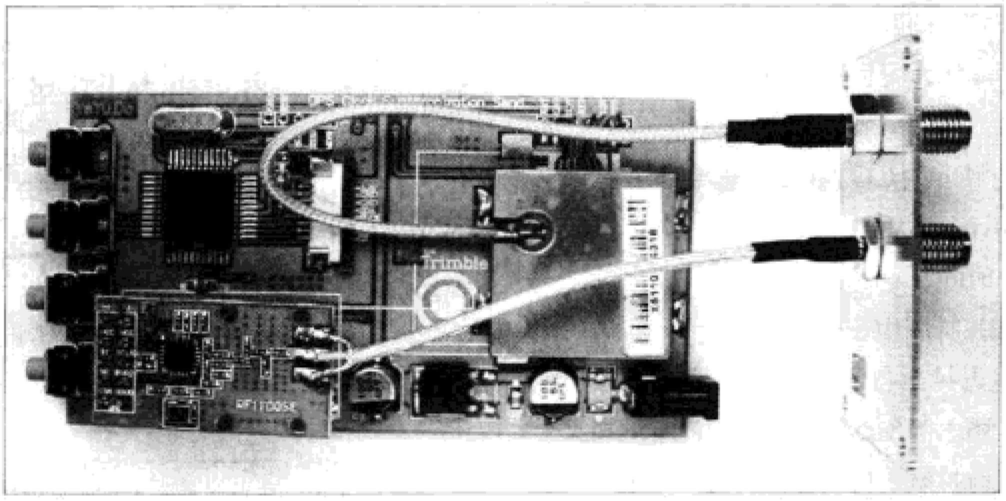


图16 将OLED显示屏对准方孔装上



（a）图中的GPS模块是丽台的LR9808

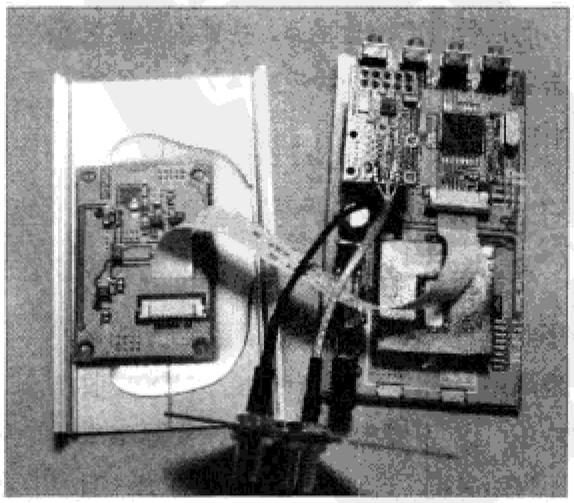

（b）图中的模块是天宝的Lassen SQ

图17 将系统各部分组装起来

其大概逻辑可以到《无线电》网站下载的本文附件中阅读。

（2）1PPS 脉冲信号处理部分

对于1PPS脉冲信号，采用INT0中断进行处理。当此中断触发时，意味着时间的整秒时刻到达。此中断的处理逻辑比较简单，就是将由$GPRMC数据包中解析出的日期时间调整到下一个整秒，这样调整过后的时间更为精确。

例如：由最近一次$GPRMC数据包解析出的时间是2011/07/03 11:10:00.520，当INT0中断触发时，将此时间调整到2011/07/03 11:10:01.000。

（3）CC1101 时间同步数据发送部分

从理论上来说，最佳的发送时刻为1PPS脉冲触发整秒中断之后，也就是在INT0中断处理程序中，但为了避免中断处理占用CPU时间过长而影响系统其他部分（例如显示）的正常运行，把同步数据的发送相关代码放在母钟的主函数main中。

为了让时间尽可能准确，程序中对发送同步包的时刻进行控制，确保同步包的发送时刻位于最近一次的1PPS脉冲触发中断后的某个时间范围之内（例如50ms），这样子、母钟的时间误差就能始终处于一个较小的可控范围之内（例如：50ms+CC1101传输延迟），为未来进一步进行补偿校正以提高时间精度提供了可能。

CC1101发送数据包采用的是变长格式，而且带CRC校验字节，主要的数据包发送函数可以到《无线电》网站下载的本文附件中阅读。

2. 子钟程序编制要点

子钟程序重点是CC1100时间同步数据接收部分。CC1100时间同步数据的接收也采用中断方式实现，由CC1100接收模块的GDO引脚提供中断源，实际中采用了INT0中断，这种方式确保了在第一时间就能接收和处理同步数据。接收数据包的函数可以到《无线电》网站下载的

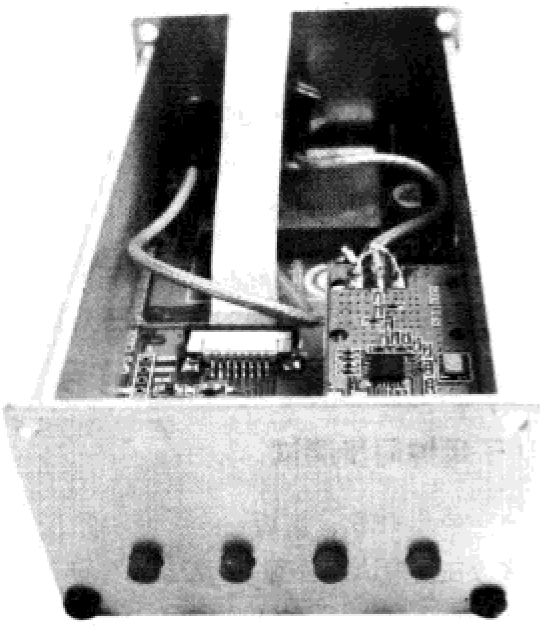


图18 将外壳和面板安装起来

本文附件中阅读。

3. 程序方面可能的改进

（1）可靠性

经过笔者长达几个月的测试，在实际工作中，CC1101在长期的工作中可能会存在偶尔死机的现象，今后可以考虑采取如下方法改进。

母钟：定期对CC1100进行复位，以提高系统长期工作的可靠性。

子钟：定期或超过一定时间没有接收到母钟的同步数据后，对CC1100接收模块进行复位。

（2）时间精度

母钟：通过定时器精确测量发送时刻和1PPS脉冲触发中断时刻的间隔，并将此间隔作为同步包中的毫秒字段进行传送（目前未使用毫秒字段）。

子钟：对CC1100传输延迟进行计算、估计，然后对时间予以补偿，以进一步减小时间误差。

（3）扩展信息

在母钟上接入温度、湿度、风力、风向、雨水等传感器，可以很简单地将其功能进行扩展，将子母钟系统打造成一个小小的无线气象站。

图19 组装好后的实际效果

图20 吸盘式螺旋天线

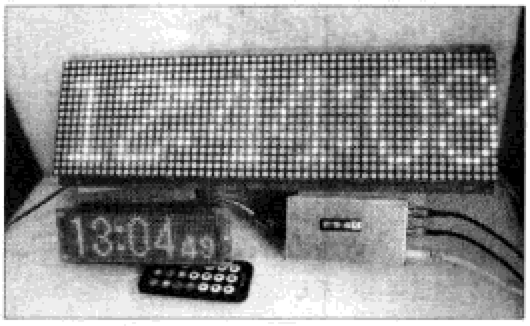


图21 未同步状态

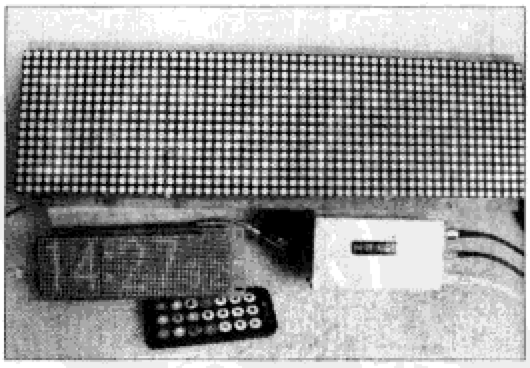


图22 同步状态

注：文章中涉及到的相关数据资料及程序可到《无线电》网站www.radio.com.cn下载。

[redacted]

◎臧海波

10种不可不知的电装工艺

电装是电子装联（电子组装）的简称，电子装联指的是电气产品在制造中采用的装配和电连接的工艺过程。电装工艺所涉及的领域非常广泛，大到飞机、船舶、航空航天设备，小到身边的家用电器、手机、汽车等。电子整机的装配更是包含了机械安装和焊接等一系列环节。要生产出高质量的产品，除了精心设计电路、正确选用元件、单元电路之间合理布局以外，还要有优良的结构设计以及装配工艺来保证，因此，在大中型生产企业和研究院等内部都有着成体系的电装工艺标准。

也许很多读者会认为，电装这个词有点大，距离自己比较遥远，其实不然。在信息和知识都以指数形式急速发展的今天，业余和专业之间的差别已经越来越模糊了。作为一名电子爱好者，身边可以利用的资源真是可以用“海量”来形容。随着网上购物的普及，DIY爱好者足不出户就能购买到常规电子元件，甚至是一些梦寐以求的元件。随着电子类配套产品的普及，可以购买到种类繁多，功能强大的DIY套件、功能模块以及基础平台。而且，委托加工类生产厂家的门槛也越来越低，我们可以在家中设计电路板，交给厂家批量生产PCB，甚至由厂家批量完成PCB的焊接。

在这样的前提下，我对业余制作的理解也深入了一层。一个电子作品将不仅仅是对照着电路图，把电阻、电容、晶体管等元件焊成一个功能电路就宣告结束。我们可以利用身边的资源，对电路的用料选择、制作工艺、外形设计提出更多的要求，达到更高的设计目标。一个电子制作作品，将不仅意味着一块在工作台上通了电可以工作的电路板，我们还可以给它配上精美的外壳，引出接口，做好功能标识，设计出友好的人机界面，甚至还可以打造自己的品牌，把作品批量化生产出来。这也让爱好者在业余条件下也有可能完成高难度作品、甚至具有专业水准的作品。

在电路的装配方式上，我们也有了更多的选择，如大家经常采用的洞洞板、搭棚、PCB等方式。电路的焊接方式也更加灵活。一些高手甚至摆脱了常规手工焊接的束缚，用烤箱DIY回流焊机，或者干脆把整个PCB工程委托给小型工厂代为加工。对于机器人这类机电一体化装置的制作，先进的电装理念可以通过合理的安排，让电子部分更好地嵌入机械部分，使成品从外观和功能上实现完美的统一。

不可否认，一个电子产品的装配和焊接是决定其最终质量的关键环节，所以我们有必要深入了解一些业余爱好者经常会采用的电装工艺。下面我就详细给大家讲讲我在电子装配上的一些经验。

首先必须面对这样一个事实：一张电路图，基本不能代表任何事情。即使明白了电路的工作原理，关键点的电压、电流、有源元件的工作点都可以准确地进行推导计算，我们的工作也只是刚刚起了个头。电路图和最终作品之间还有很多环节，比如元件的选型、采购、焊接方式、装配方式、接口选择、人机界面是否友好等一系列问题都需要我们去解决。我的经验是，用做工程的模式去思考一个作品，从外至内规划这件作品的电装工艺。

例如，对于一部音响的制作，我会首先确定机箱和输入/输出插座、电源插座、音量旋钮等外部元件的选型，然后规划好它们在机箱前后面板的摆位。首先保证人机界面友好，方便操作，最后才是根据机箱底盘和插座来设计内部电路的布局和制作电路板。

又如对于机器人的制作，也是在优先保证机械部分运转良好的情况下，同时兼顾考虑电子部分的装配细节。即使是制作一部简单的单片机数字钟，我也会优先考虑给它一个漂亮的外壳。对一件事情认识的高度往往会决定其最终完成的质量，这是一种全新的制作思路，希望喜欢动手的爱好者都能重视这样的思路。

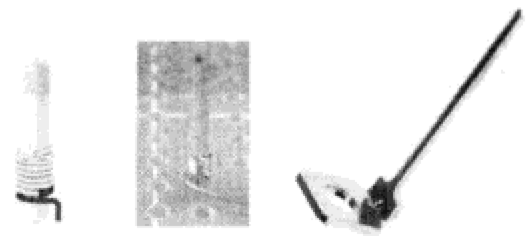
业余爱好者经常遇到的电装方式归纳起来有三大类：绕接、冷压和焊接。

绕接（Wire Wrap）

绕接（Wire Wrap）是指用专用工具对一定长度的单股实芯导线施加一定的拉力，并按预定的圈数缠绕在带有两个以上棱边的接线端子上，以达到可靠的电气连接。当导线缠绕于带棱边的端子上时，导线对端子的锐利棱边施加一定的压力。由于导线与端子棱边的接触面积小，因而压强很大，在端子表面会产生刻痕。在绕接过程中，由于导线的滑动作用，破坏了接触面的氧化层，获得了一个清洁的接触表面，同时接触处瞬间温度升高，产生了金属间的扩散，形成合金层和气密区，因此实现了可靠的电气连接。

绕接的接触电阻比锡焊要小，只有1mΩ左右，而锡焊节点的接触电阻则有10mΩ左右。此外，绕接的抗振能力比锡焊约大40倍。Wire Wrap技术是二战后在Bell实验室发展起来的，当时主要的目的是为了在贝尔的继电器电话交换系统中接线，并在之后的PDP-10等一系列巨型计算机及阿波罗登月计划的计算机中使用。正是因为它具有优异的电气连通性能，时至今日，仍然被应用于航天和电信领域。

虽然现在爱好者可以很方便地在网上或者电子配套市场购买到绕接所需的工具、绕线笔和绕接导线，但是用来安置元件和进行绕线连接的专用端子板却很难买到。这种工艺对业余应用来说，用途就比较有限了。此外，绕接最大的缺点是电路连线过多、过密，故障排除困难，且受



Wire Wrap专用绕线端子，一端为有棱边的绕线工作面，一端为螺丝固定（冷压）的电气接点

导线之间杂散电容、电感的影响，很难把频率做高，一般绕接电路的频率均小于40MHz。对绕接工艺感兴趣的读者可以去维基百科站点查看关于Wire Wrap的更多细节，地址是http://en.wikipedia.org/wiki/Wire_wrap。

我一般把绕接方法作为一种临时的辅助手段，用来连接由杜邦插针做端子的电路模块。

冷压（Cold Welding）

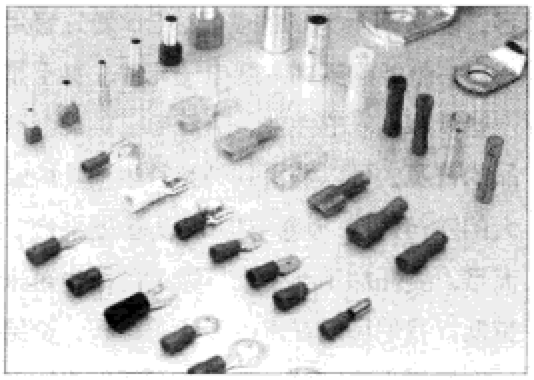
冷压（Cold Welding）工艺正确的叫法应该是冷压焊，是一种在室温下对金属接合处加压，使之产生显著变形而焊接的固态焊接方法。加压变形时，工件接触面的氧化膜被破坏，并被挤出，从而净化了焊接接头。冷压焊过程不会引起接头的升温，也不存在界面原子的相对扩散，因而接头的导电性、抗腐蚀性优良。与绕接工艺相同，冷压的电气连通性能同样要优于锡焊。

冷压的缺点是较难完成复杂电路的装配，且制成的电路单元体积较大。冷压装配工艺经常用于汽车、动力机械和航天工业中。我们身边也可以找到冷压工艺的身影，比如有线电视网的接头、网线和电话线的水晶头等。

冷压工艺对于DIY应用来说，也是比较有限的。随着电子类配套材料的普及，往常需要借助冷压钳、手工压制的杜邦线、插簧排线等，都可以从市场上购买到成品。只有一些极个别的情况，比如制作一些大电流的设备，需要自己给导线压制端子。

小型冷压钳

常用的冷压端子



焊接（Soldering）

焊接（Soldering）目的就是用焊料将互相分离的元器件、零部件、导线结合起来，以形成导电通路。焊剂的作用是与锡铅焊料、被焊器件及焊接端子的表面氧化物起化学反应，使被焊接金属原子与焊料表面的原子相互接触，靠原子间的热运动形成合金。当温度降低后，熔融的焊料变成固态，从而将被焊件牢固地结合起来，完成焊接过程。

对于DIY爱好者来说，焊接工艺是制作电路的必修课。从笔者小时候在少年宫参加无线电兴趣小组开始，就开始熟悉焊接了，回忆起那个时候的工具和工艺，真可以用“小米加步枪”来形容。制作一部较高级的七管外差式收音机，还是采用硬纸板或者三合板作为底板，在白纸上画好电路图，贴到底板上，用锥子扎孔，固定元件，在板子背面用导线连接。后来陆续体验了以覆铜板作为主材，采用刀刻、腐蚀、热转印等方法手工制板的工艺，直至比较现代的工厂PCB制板。

壅根焊 4

壅根焊，简单而言，就是省略了打孔和元件插装工序的手工制板工艺，板材一般也为覆铜板。在覆铜板上刻制好电路以后，无需打孔，元件引脚贴着铜箔面直接进行焊接，电路板没有铜箔的那一面则贴着机箱底盘安装，提高了信噪比，焊锡堆在引脚焊接，这也是“壅根”一词的由来。有的DIY爱好者则采用更取巧的方式，把制板工序也省略了，只是利用覆铜板的铜箔面作为一个基础（一般把它作为电源地），在上面堆砌元件完成电路的焊接。

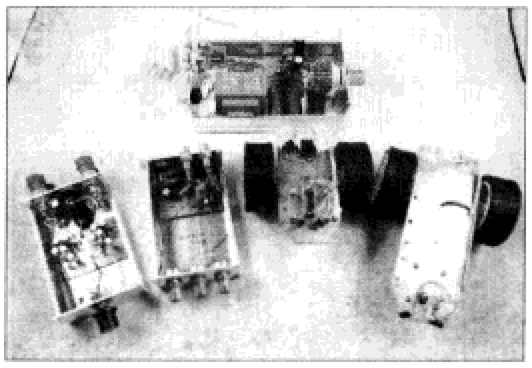
这种焊接方式的优点是可以迅速完成一个单元电路的搭建，电路的电源、输入/输出端口也可以焊接在电路板边沿，操作起来非常方便。其缺点是难以完成复杂电路的制作，对制作者的工艺水平有一定的要求。

壅根焊制作经验：

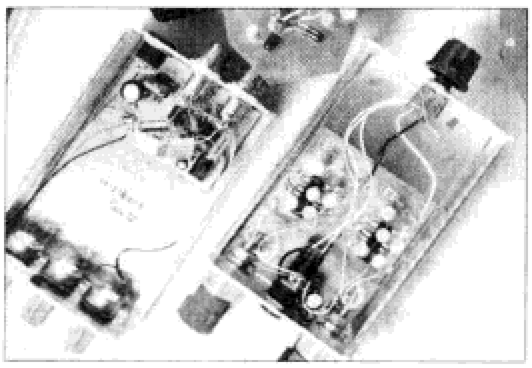
1. 可以把壅根焊与芯片引脚搭棚焊结合起来，进一步简化工艺。

2. 芯片引脚搭棚（Dead Bug），即把芯片引脚朝上，好像一只肚皮朝天、死翘翘的虫子（用词虽然不太文雅，但是非常形象），在它的引脚上进行周边元件的焊接，覆铜板就是机器人的底盘。电子部分在铜皮面配线焊接，好像给机器人装了一枚硅基大脑。

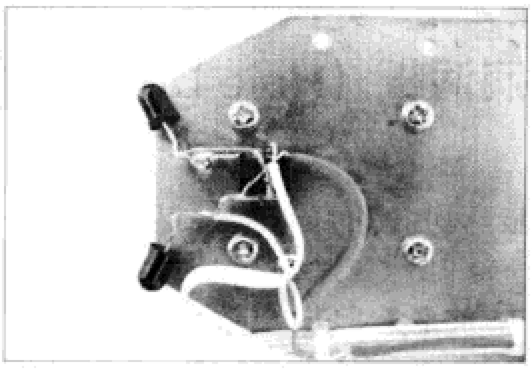
3. 使用覆铜板作为机器人的骨架，铜皮面和电子部分暴露在外面，可以增加观感。



采用壅根焊工艺制作的音响功放、前级和寻光机器人



几个壅根焊作品的电路板部分特写

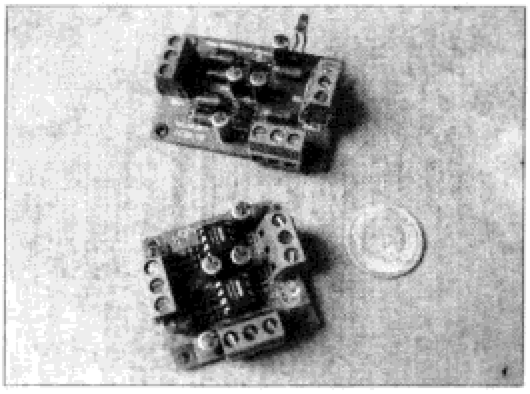


壅根焊与Dead Bug相结合的装配方式

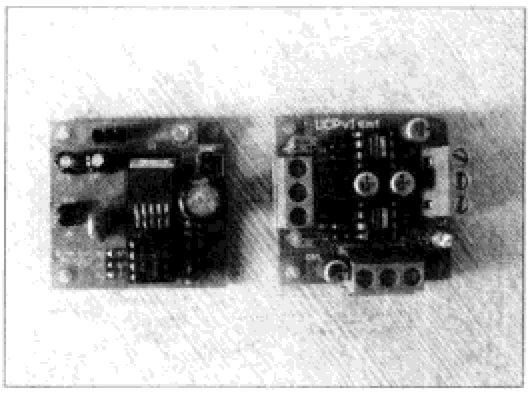
印制电路板（Print Circuit Board） 5

随着印制电路板（Print Circutt Board，简称PCB）生产工艺的普及，电子爱好者可以在家中独立完成印制电路板的设计，再委托厂家批量加工。这种方式的优点非常明显，合理地利用贴片元件（SMT），再加上精心的设计，可以使电路的结构更加紧凑，电气性能更好。另外，PCB的一致性非常好，便于组织进一步的批量装配焊接，甚至整机的生产。

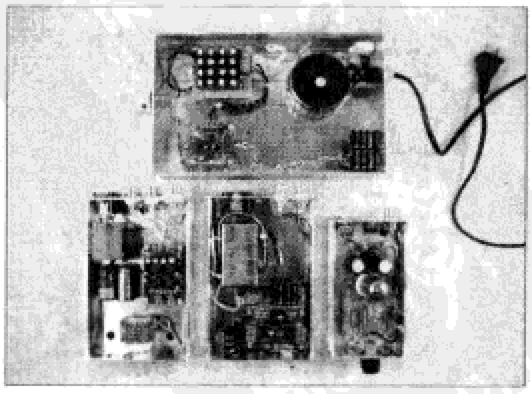
PCB的缺点是业余条件下完成一个成功的定型设计比较困难，需要爱好者具备相当丰富的经验，在设计前期，要做足各方面的功课，比如元件选型、建立封装库、规划布局、电气特性、固定安装、电路板接口元件与机箱面板的配合等一系列的细节问题，且存在制板费用偏高、错板很难再利用等一系列问题。



LM4562前级和UCP1模块



UCP2和UCP1



使用PCB制作的几部音响前级

印制电路板制作经验：

1.优先考虑使用贴片元件，可以达到缩小体积，降低成本的目的。

2.制板前期需要事先规划好后续的调试、装配等一系列问题。

3.可以在电路的关键节点预置测试焊盘，供调试之用。

4.简单电路，采用手工布线的方式，尽量不使用PCB设计软件的自动布线功能。

5.文件送厂前，最好打印出来校对一遍，有时候一些细节问题在电脑上可能看不出。

6.条件允许的话，可以先做一板手工热转印，实际焊接、装配、调试一遍，验证各个问题是否考虑周全。

手工制板（Home Made PCB）⑥

手工制板（Home Made PCB），包括很多种方法，这是一种以覆铜板为主材，采用刀刻、腐蚀等方法，去除不需要的铜箔，形成导电通路的制板工艺。腐蚀刻板又分为油漆、记号笔、胶带、热转印等多种方法。现在有条件的爱好者也会采用雕刻机刻板的工艺，极大地提高了制板精度和效率。

上述这些手工制板工艺最大的缺点是工序比较烦琐，且会产生一定程度的垃圾废料，比如在腐蚀刻板环节经常采用的三氯化铁溶液，制板后产生的废液若随意丢弃会污染环境；板子钻孔环节会产生大量碎屑等。从我个人的角度，比较倾向于在电装环节简化步骤，除非特殊需要（比如怀旧），手工制板工艺将不是我的首选。

洞洞板（Hole Board）⑦

洞洞板（Hole Board），也称为实验板，是电子爱好者和开发人员广泛使用的一种电路装配方式。不论是刚入门的新手，还是资深的玩家，都对它情有独钟。用洞洞板搭建电路的优点是成本低，灵活性大。洞洞板的特点是每个焊盘之间的间距固定，通常为英制电路板的标准单位100mil（相当于2.54mm），这个标准非常适宜常规元件的插装焊接。洞洞板分为单面焊盘的普通板和双面过孔焊盘的高品质板两种。有经验的爱好者更是可以根据电路图和手头的元件，在洞洞板上设计出非常美观的布局。

基于模拟计算机的寻光小车，电子部分俯瞰图

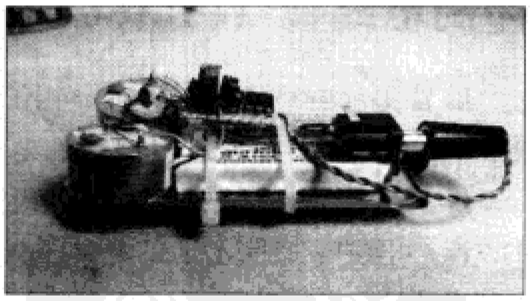
洞洞板制作经验：

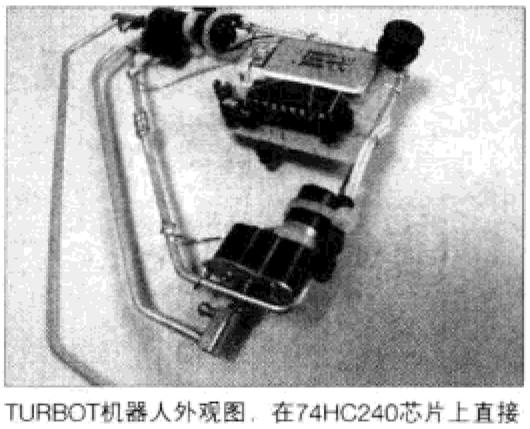
1.不建议采用堆锡走线的方式来做电路连通，既不经济，意义也不大，其实使用元件剪下的引脚来连接相关节点，并辅以导线和跳线就可以了。

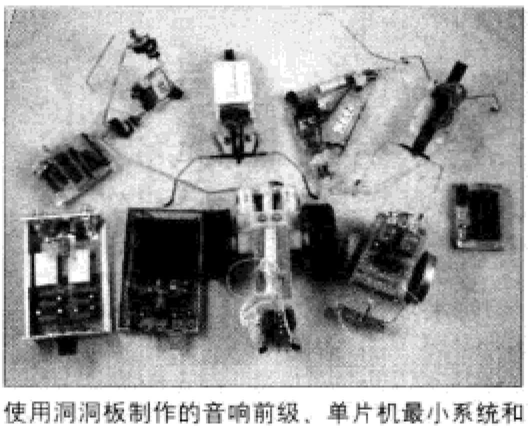
2.灵活使用贴片元件，减少跳线数量，并合理利用空闲焊盘。

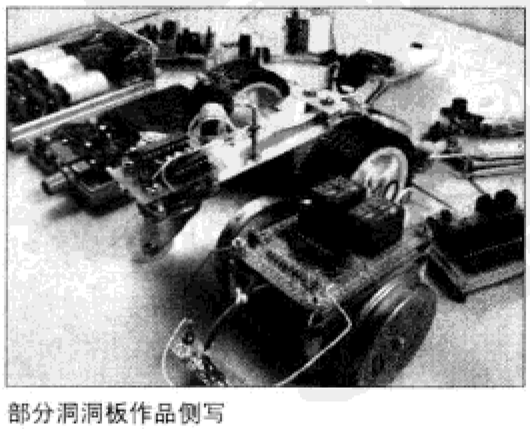
3.可以根据走线需要，灵活选择元件采用卧式或者立式的安装方式。比如立式安装的电阻将占用2个焊盘，卧式安装的1/4W电阻占用纵向4个焊盘，中间的2个空焊盘可以用来走线或者焊接贴片元件。

4.在集成电路上焊接跳线。爱好者通常会采用给集成电路配上一个插座，在插座上焊接电路。其实换个思路，完全可以把洞洞板背面的跳线换到芯片上来焊接，达到节约芯片底部焊盘的目的，而且这样完成以后的作品别具一格。


在电路小巧紧凑的前提下，再加上结构部分的一体化设计，使这台寻光小车组装起来以后，呈现出独特的风格


TURBOT机器人外观图，在74HC240芯片上直接焊接跳线


使用洞洞板制作的音响前级、单片机最小系统和微型机器人


部分洞洞板作品侧写

飞线（Air Wiring）

飞线（Air Wiring），它的连接分为两种方式：一种方式是使用跳线插接来连接各个单元模块，组装功能完整的最终作品；另一种方式是使用飞线焊接的方式制作单独的功能电路。

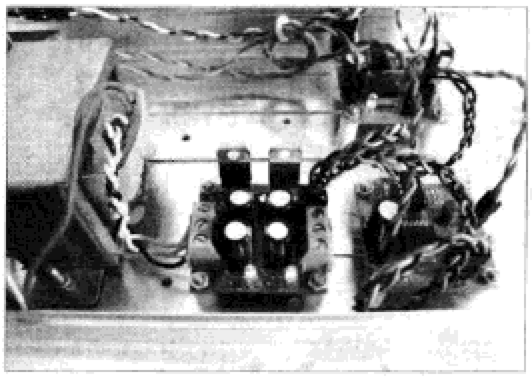
我喜欢使用杜邦跳线进行单元模块之间的连接。杜邦跳线价格低廉，在市场上有大量的长度各异的杜邦排线可供选择，厂家已经预先压好了簧片接头，买来按接口数量分开就可以使用。杜邦插头和插针的电气连接特性非常好，最好的证明就是杜邦线被广泛应用于PC电脑主板和外设之间的跳线，而电脑极少出现因为杜邦跳线接触不良而导致的故障。我自己设计的PCB电路板接口，也会优先选用杜邦插针引出的方式。

用飞线手法焊接电路，涉及到线材的选用。我经常使用的线材有两种：一种是单片机电路实验里经常用到的线仔，也称为电子线；另一种是手机维修中使用到的免刮漆包线。

在电子市场上可以买到颜色各异、等长、两头剥皮上锡的细导线，俗称线仔。线仔是一种非常好用的DIY材料，使用它们配合洞洞板，可以迅速搭建数字电路。

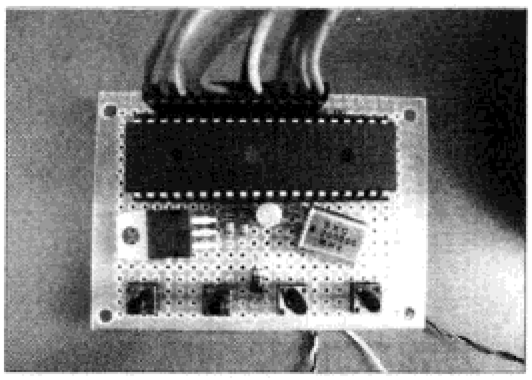
线仔焊接的特点是不必剪切和剥皮，直接一根一根用这些预制好的成品线对照电路图连通电路的各个节点，导线长出来的部分可以使用棉线捆扎在一起，外观非常漂亮。这种装配工艺是我制作单片机电路的首选。

还有一种方式是免刮漆包线。手机维修用的漆包线很细，非常方便裁剪和定型，焊接的时候用烙铁头烫一下，去掉漆皮就可以焊接。因为漆包线非常细（直径只有0.1mm），可以在芯片引脚和元件之间的缝隙中以及洞洞板的焊盘孔洞中穿插走线，操作起来非常方便。DIY玩家不必担心这种漆包线的漆皮是否牢固，根据我的经验，用20W电烙铁烫2s，还达不到破坏表层漆皮的效果。我焊接这种线一般使用焊台，把温度调到300℃以上，以保证良好的去皮焊接效果。

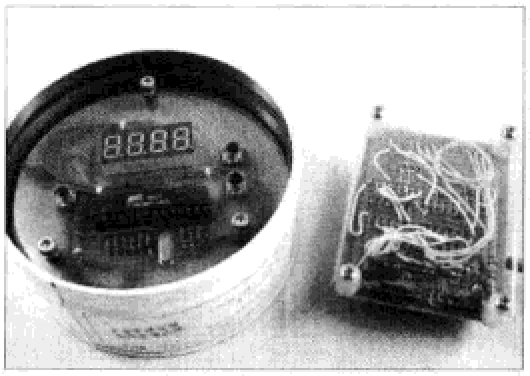


UCP2耳放，电路模块之间使用杜邦跳线连接

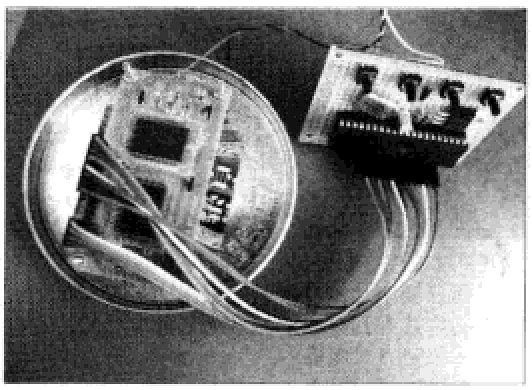
手机维修用免刮漆包线



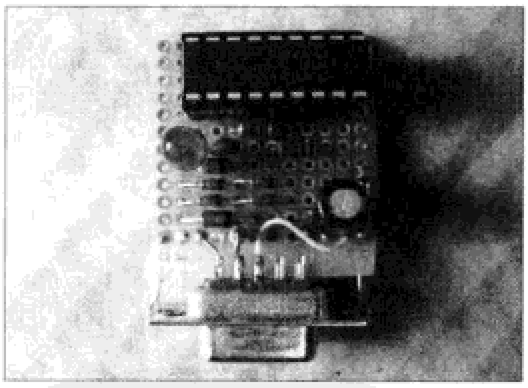
AVR M16数字钟主板，杜邦跳线引出信号



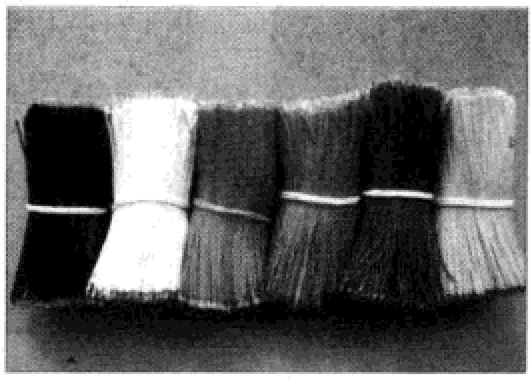
使用线仔飞线焊接制作的AVR M8数字钟（图左）和M8最小系统（图右）



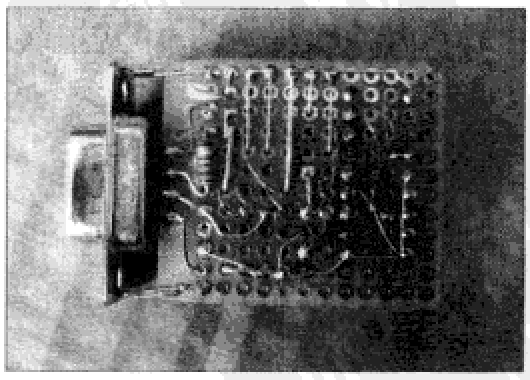
AVR M16数字钟装配图



我制作的PIC单片机编程器



线仔（电子线）

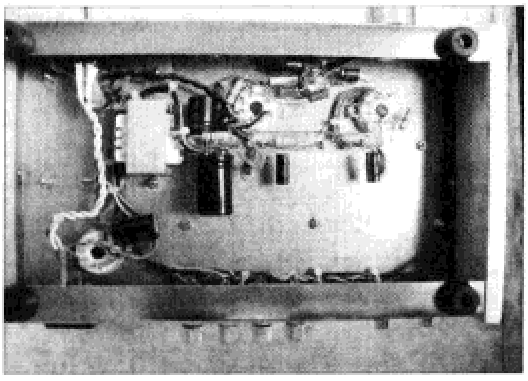


PIC编程器底部，使用漆包线进行飞线连接

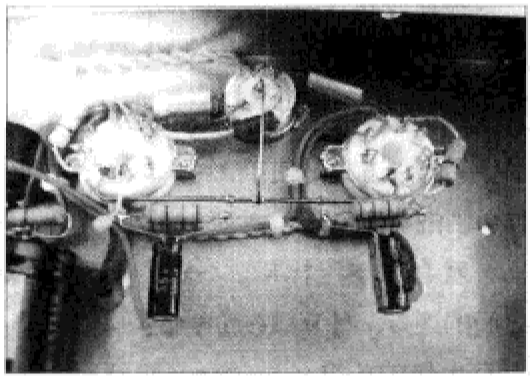
搭棚焊（Point to Point）

国外论坛上，DIY爱好者通常把搭棚焊（Point to Point）简写成P2P。这种装配方式的特点是借助底盘固定好大型元件、插座以及棚架，在插座和棚架之间进行元件的布局和焊接。这种装配方式被广泛应用于HI-END胆机和发烧友自制的胆机中（随着人工成本的提高和量产的需要，越来越多的平价胆机选择PCB装配的模式）。其实，石机也可以采用搭棚的方式焊接，国内爱好者把搭棚焊接而成的晶体管电路俗称“石机胆做”。

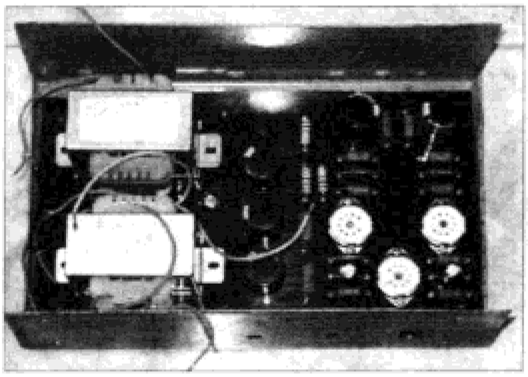
搭棚焊的优点是信号路径短，失真小，元件替换方便；缺点是对制作者的工艺水平要求较高，如果批量生产，产品的一致性不好控制。DIY爱好者不受商业因素的制约，可以灵活运用这种手法。



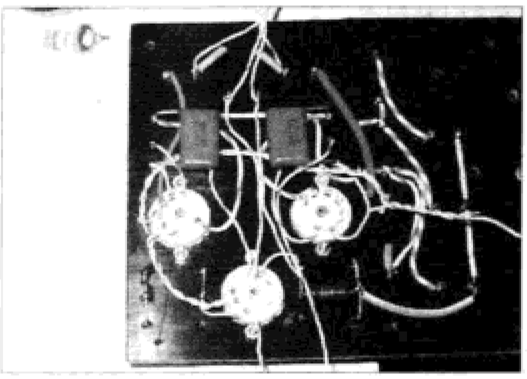
笔者搭棚焊接的6P3P胆机功放，底盘布局图



6P3P胆机电子管管座部分的搭棚细节



胶木铆钉板制作的电子管耳放



耳放电路板底部，元件穿过铜铆钉焊接固定，节点间通过导线连接

搭棚焊制作经验：

1.胆机搭棚

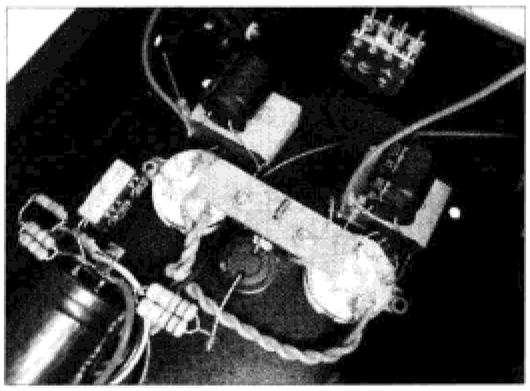
一般遵循分层走线、星型接地的原则。灯丝对信号干扰较大，首先要贴着底盘使用绞合线连接电子管灯丝，然后走整机的地线，接着沿机箱外框走信号线，最后是高压部分。

2.石机搭棚

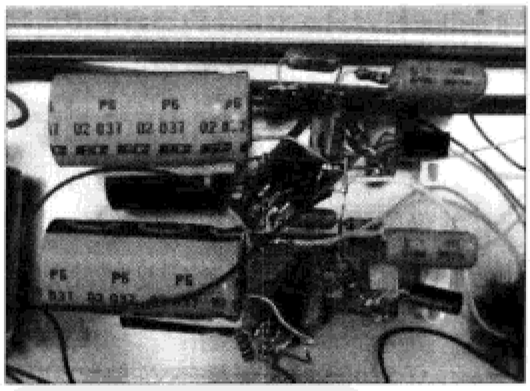
因为晶体管电路的元件比较小，使用胆机棚架来搭棚可能会显得间距过大。我使用洞洞板边沿裁下的条带作为棚架，在铜箔面进行壅根焊和搭焊混合的方式完成电路的装配。也可以把洞洞板裁成窄条进行元件的固定和焊接，体积较大的滤波电容、功率电阻等可以借助尼龙扎带捆绑在电路板或固定在机箱底盘上。

3.制作棚架

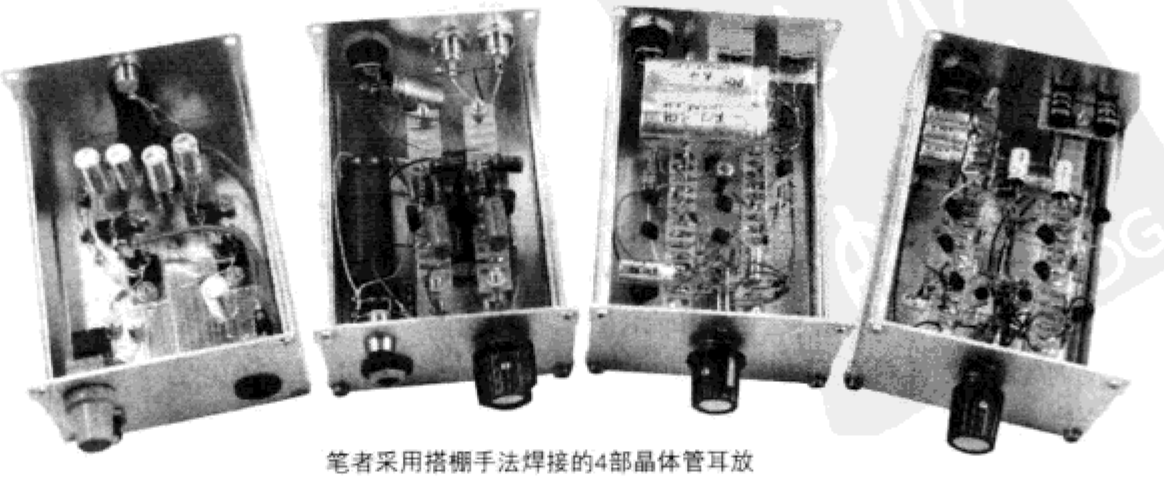
还可以使用环氧树脂板和铜铆钉，根据手头的元件尺寸自制棚架，使最终作品达到精益求精的效果。



6N8P双管SRPP前级，绿色绞合线为电子管灯丝。两只管座之间的覆铜板铜箔面为星型接地，整机的地线都到这里汇集。高压部分的阻、容电路采用架空方式连接



晶体管搭棚焊接的射级跟随耳放，输出管直接固定在底盘上，蓝色的PHILIPS BC输出电容用胶粘的方式同底盘上的滤波电容固定牢靠



笔者采用搭棚手法焊接的4部晶体管耳放

缠绕焊（Free From）

缠绕焊（Free From）的特点是不借助任何电路板和导线，只是利用元件自身的引脚来完成电路的连接，通过元件与元件之间穿插交错，来完成功能电路的组装。这是我比较中意的一种电路装配方式，它的优点是，焊接完成以后的功能电路体积非常小巧、紧凑，且具有一定的艺术感。缠绕焊是我制作微型机器人电子部分的首选工艺。

缠绕焊制作经验：

1.焊接前需要仔细规划好元件之间的摆位。比如两只1/4W电阻平行排列，它们之间的缝隙里足够插入一只小型瓷片电容，独石电容的引脚间距相当于一片双列直插式集成电路的3个引脚的距离。集成电路引脚内侧刚好可以容纳下一只0805封装的SMT元件，等等。有了对元件外尺寸和引脚间距的深入了解，再加上一定的空间想象能力，焊接前就可以在脑子里规划出一幅立体的电气装配图。

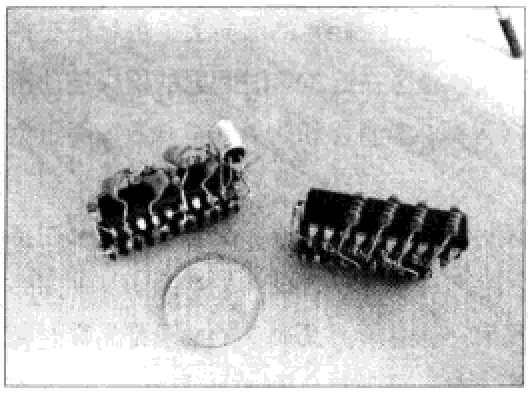
2.注意预留好电路的外设端口，比如电源、地线、电机输出等。可以在元件引脚的末端弯一个小钩子，方便搭接外连导线。

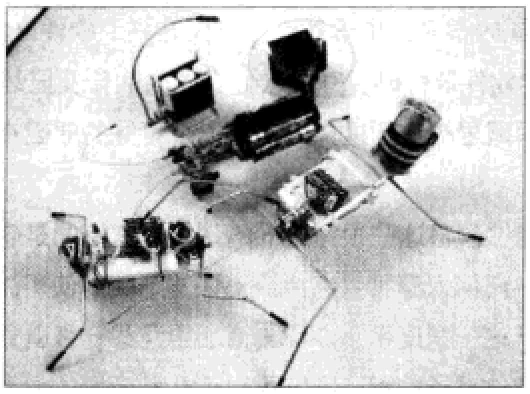
3.地线部分适当加固，并且预留出一些固定环，方便穿过尼龙扎带等，用以把焊接完成的电路模块固定在机身上。

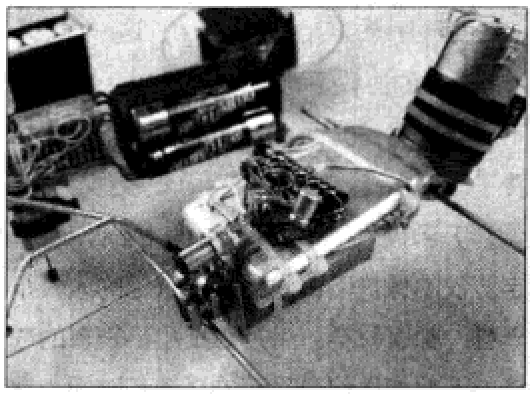
4.在电路的关键节点留出连接示波器探针或者焊接补偿元件的余量，方便模块的后期调整。

5.引脚之间有可能碰到的地方可以套特富龙管进行绝缘，或者在焊接调试完毕以后用热胶棒固封整个电路模块。

上述这5点，都把它们一一规划好，还要兼顾成品外形的美观，的确是一件具有挑战和充满乐趣的工作。缠绕焊装配工艺，已经颠覆了批量生产电路的生产模式，借助它可以制作出极富个性的作品。缺点是对制作者的工艺水平要求很高，焊接完成的电路模块很难再做较大的修改。


缠绕焊手法制作的微型机器人电子控制核心


几只微型机器人，电子部分采用缠绕焊的工艺，使之很好地与机械部分搭配


爬虫机器人的缠绕焊电子核心特写

除了上述几种装配方式以外，电装的含义还远远不止于此。计算机爱好者组装PC机，是板卡与板卡之间的电气装配。音响爱好者搭建一套音响系统，是设备与设备、设备与线材之间的电气装配。电装的含义也可以扩展到软件的层面，假如你是一位程序爱好者，精通软件但是对硬件不是太感兴趣，也可以购买厂家预制好的硬件平台，自己编写程序，修改算法，进行芯片固件的电气装配。

结论

电装工艺是一项非常复杂的工作，注重装配过程中的每一个细节，是保证整个装配质量和作品最终成败的关键所在。活学活用身边的材料，时时更新制作理念，谁说业余就玩不出专业的精彩？

编者按："开源硬件"这个概念继"开源软件"之后，正逐步为大众所了解——在特定协议的保护下，公布硬件设计原理、制作过程、源代码，简而言之，就是提供完整的自制方案。本刊编辑参加了 10 月在北京航天航空大学举办的中国开源硬件峰会，本期专题的几篇文章就是根据峰会上的 4 个主题发言整理而成的。

在峰会上，我们看到国内的第一批"创客空间"正热忱而积极地推动着开源硬件在国内的发展壮大，他们的激情和活力也代表着一个从创意、创新到创造的产业正在兴起。而与此同时，我们也感叹《无线电》的创刊前辈们，在百业待兴的20世纪50年代就看到了"开源"带来的强大动力。20世纪50年代的扩音机、矿石收音机制作的介绍、80年代电视机制作与维修的介绍、90年代单片机应用的介绍……对这些内容的回顾让我们感到，其实从1955年创刊之初，"开源"的意识就已深深嵌入本刊的品牌理念中。也正是有了这些"开源硬件"的内容，才让杂志成为培养几代中国电子人才的优质平台。

时代的发展，技术的进步，观念的更迭，赋予"开源"更多的意义。携当下流行的机器人、3D打印机、四旋翼飞行器……让我们再次走近"开源硬件"。

走近开源硬件

◎肖文鹏

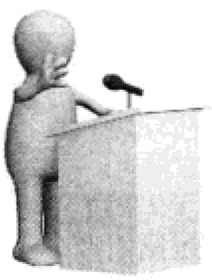
对于开源（Open Source）这一概念，目前国内很多人的理解还只停留在开源软件（Open Source Software）的层面上，也就是在特定的协议下可以自由复制、使用和传播的软件源代码。开源软件在国内的普及显然与开源软件社区在近20年时间里的积极推动密不可分。另一方面，开源这一概念目前在软件领域里被广泛追捧，还有一个可能的原因在于许多人都非常直接和简单地将开源等同于免费了。

开源硬件（Open Source Hardware）应该能够颠覆这些根深蒂固的认识，它指的是硬件的设计图纸、装配过程、配套代码等都在特定协议的保护下，向所有感兴趣的人公布出来，任何人都可以在协议允许的范围内使用、生产和销售。基于开源硬件的产品同其他商品一样，都有材料、生产、推广、销售的成本，从这一角度来讲，你去商店里购买一张普通的桌子和一张基于开源硬件的桌子都是需要花钱的。但如果你有足够的兴趣和时间，从开源硬件桌子的网站上你可以下载到全套的设计和装配文档，然后自己购买原材料来制作这张桌子。

开源硬件在国内目前还是一个非常新的概念，从事开源硬件相关工作的人还不像开源软件那么多。参与开源硬件项目时，一般都需要一个哪怕再简陋的实验室，这与从事开源软件项目只要有一台电脑的情况大相径庭，因此目前国内与开源硬件相关的工作主要是通过创客空间（Makerspace/Hackerspace）来进行推动的。

创客空间的概念是给所有创客（Maker）提供一个物理的开放实验室，里面有各种工具和原材料，大家聚集在一起，共同完成某个感兴趣的项目开发。创客空间的文化天然就是开源硬件的文化，强调一起学习和共同分享，很多开源硬件的项目事实上都是在创客空间里孕育和发展起来的。国内目前已经在北京、上海、深圳、杭州出现了创客空间，并且会有越来越多的城市建立起创客空间。

作为一个生产性的大国，我们要完成从中国制造到中国创造的转变，显然需要借助全社会的努力，并尽可能多地利用外界力量，开源硬件的分享本质让更多人有可能加入到创新的队伍中来。这次在北京航空航天大学举行的开源周活动上，第一次有机会将国内从事开源硬件的相同组织、公司和个人集合到一起，大家共同讨论开源硬件，这势必会推动开源硬件在国内的发展，也必将成为开源硬件在国内发展的里程碑事件，让我们一同为中国的开源硬件发展呐喊助威！



开源硬件与“新山寨”

◎李大维

所谓开源，它并不是一个创新，而是一个知识转移的过程，认识这个概念很重要。最近大家关注世界上爆发的战争，其中的导弹制导或者无人驾驶飞机等技术，都是很好地利用开源硬件的例子。可以说，开源的使用非常广泛。例如，在软件方面，有开源的Linux、Apache、MySQL；在互联网方面，有PHP、Python、RoR等。开源的存在可以降低互联网创新、创造和创业的风险和成本。

开源硬件主要是指项目中用到的软件、电路原理图、材料清单、PCB图等，这些都可以通过使用“开源许可证”，自由地使用与分享。由于开源是一个较新的概念，所以目前正在从DIY社区开始，走向有法律保护、协议清楚的分享。

目前国内已经有多家玩开源硬件的创客空间，分布在全国各地。例如北京创客空间，他们拥有3D打印机，我们上海新车间的创客空间也有一台，欢迎有兴趣的朋友来看一下。开源的3D打印机并不只是为爱好者提供简简单单的操作示范，本着开源的原则，我们会把其中的硬件原理等完全分享给你。

下面，我介绍一下关于手机的开源应用。iPhone手机所具有的刷卡技术HiJack，大家都觉得很神奇，不知道其手机刷卡具体是如何操作完成的，其实这个技术也是开源的，是通过耳机口连接到iPhone的微控制平台，大家可以拿来自己创作。HiJack打破了Apple对外接周边设备的严格限制。

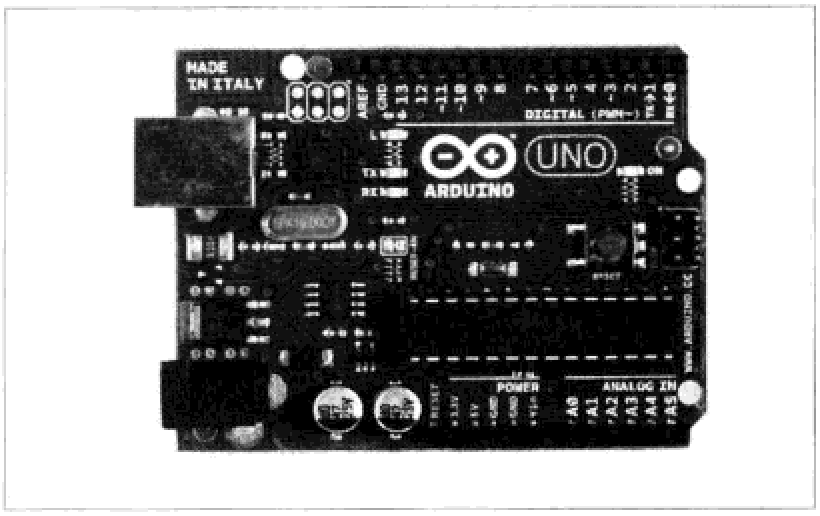
目前，Google也开始致力于基于Arduino的ADK（应用系统开发包，英文全称为Application Development Kit）的开发，这是围绕安卓（Android）系统的周边进行开发，比如直接让Android装置（手机或平板电脑）通过控制USB与蓝牙等I/O，直接驱动外围设备。这些都与开源硬件有关。

综上所述，看开源硬件和做开源硬件最重要的，其实不是如何去创新，如果你想创造最尖端的技术，可以致力于学术，去读博士等，做开源硬件是将已有的专业知识通过开源的方式传播给大家，与大家分享。

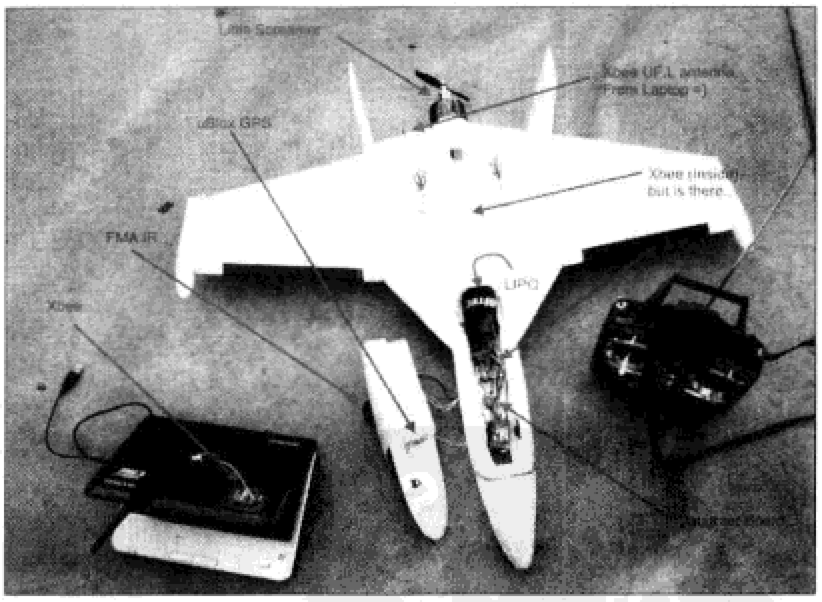
不过，从目前国内的现况看，很多人可能并不希望自己动手去做，持观望态度的居多，那么我建议大家可以多了解一下开源，可以让自己做一个更好的消费者，这又何乐而不为呢？

什么是开源？

- 确保用户能修改、改进、分布、传播
- 过去20年，开源软件改变我们的生活
- 开源不是创新，是分享知识
- 分享创造是建立在基因里面的快乐来源
- 社区决定开源项目的成败



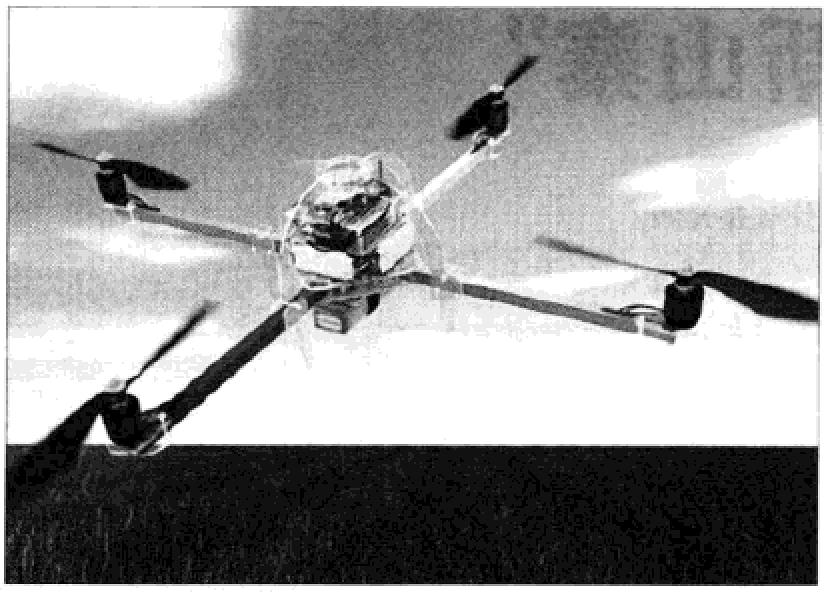
Arduino：2005年设计出的一个可以简单入门的建立物理互动原型的平台



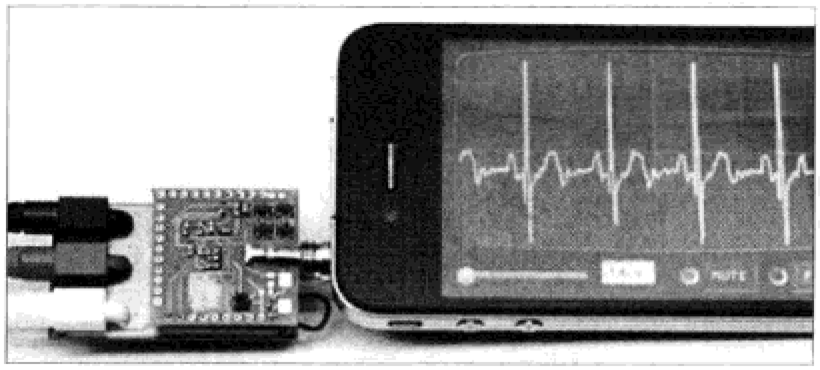
基于Arduino平台的无人航空器的设计可以普及到一般玩家

意义和机会

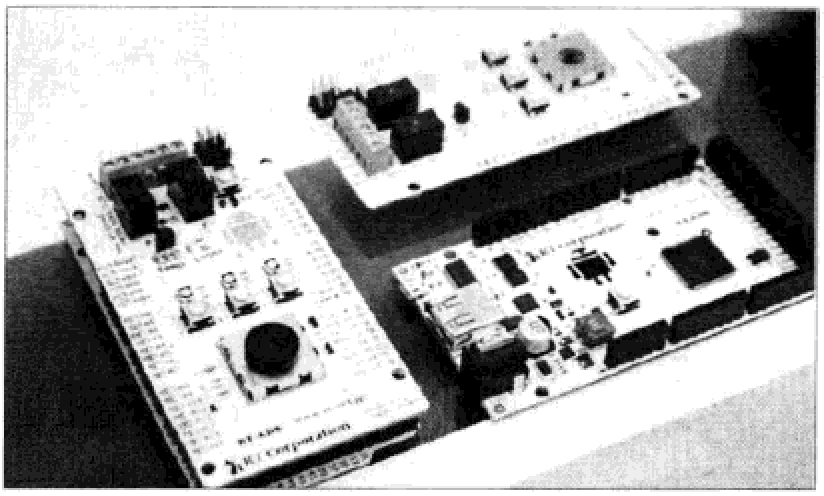
- 把封闭专业的技术开放给有兴趣的玩家
- 用Web 2.0上手快，将风险低的设计和开发带到硬件产品的开发中
- 让我们成为更好的消费者：消费不是宗教



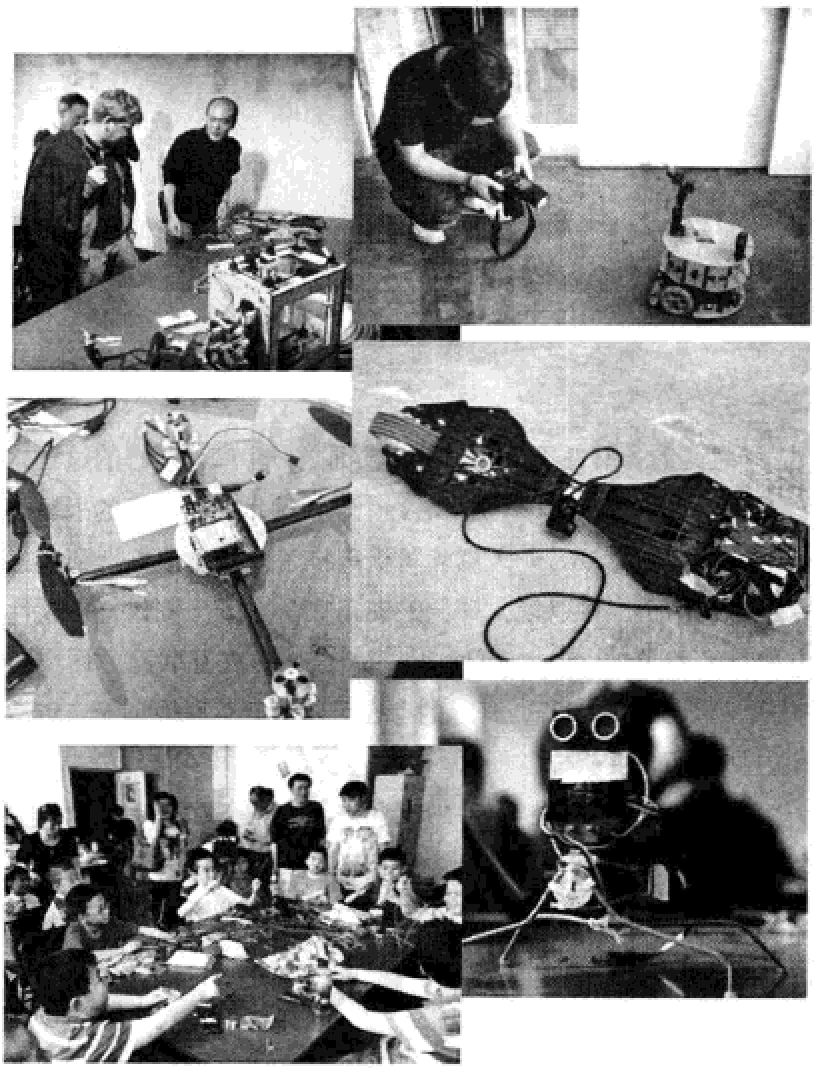
印度电影《三个傻瓜》中的四旋翼飞行器



HiJack技术在iPhone上的应用



Google也开始致力于基于开源技术的ADK



传播开源硬件的实体社区

哪里有开源硬件可供了解呢？北京、上海、深圳等很多城市都有创客空间，这些创客空间是传播开源硬件的实体社区。据了解，目前全世界有900个开源社区，上海新车间是国内第一个创客空间。这些创客空间多数都是属于非盈利地推广开源硬件和DIY精神。

开源的概念虽然很新，但是在中国，“山寨”厂家实际对这个概念的实现已经做得非常成熟了。目前“山寨”厂商实现的上下游合作、周边产业合作等都非常频繁，其实这就是一种开源。在合作交流的过程中，大家对现有硬件进行复制并创新，并且反复这个过程，使得产品的品质不断提升，从而具有一定的竞争力。我们目前进入开源硬件的好处是，不少原料供应商已经了解了开源硬件是怎么运作的，你可以借助这些产业链将产品国际化，做出自己的品牌，而不必去淘宝上拼价格，更重要的是，与“山寨”唯一不同的是，你的东西是完全合法的。

因此，我们提出了“新山寨”这个概念，这是建立在开源硬件的资源开放基础上的。我们可以有效利用现代“山寨”的微生产能力，利用快速的网络营销来推广我们的创新产品。

“新山寨”

- **建立在开源硬件开放的资源上**
- **有效利用现代“山寨”的微生产**
- **利用快速的网络营销来推广**

那些开源硬件引发的创意

◎潘昊

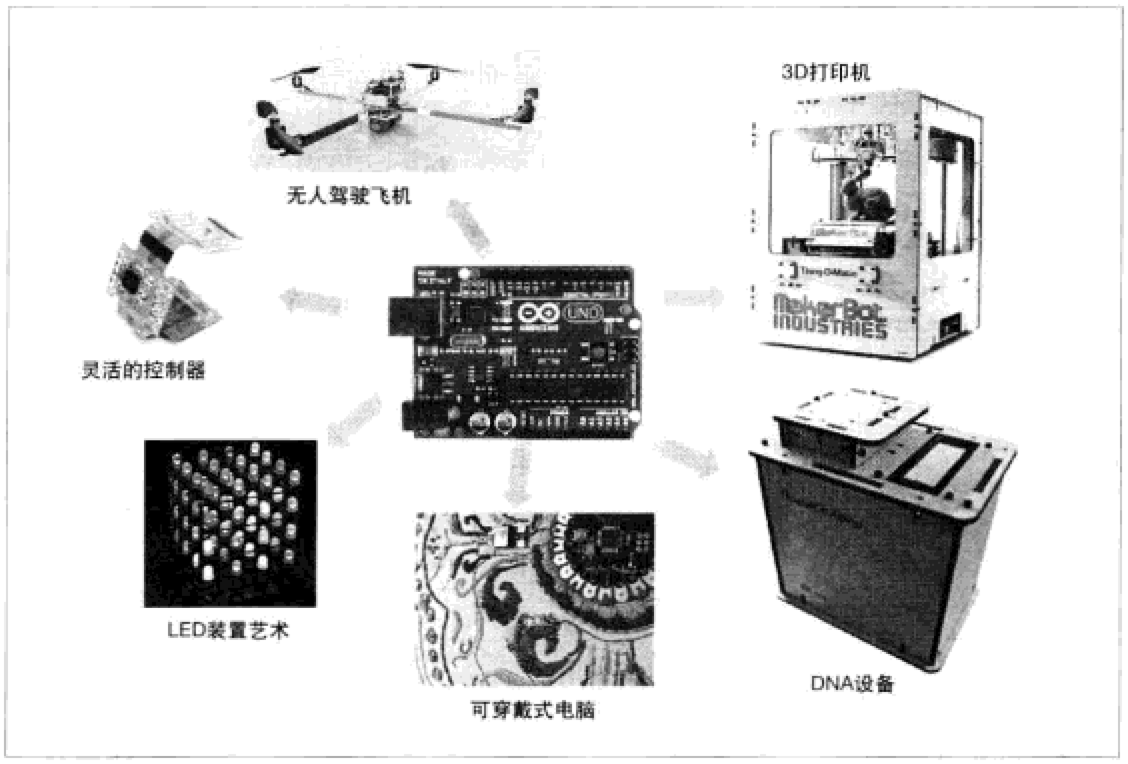
我自己从3年前接触开源硬件并创办工作室，如今，越来越多的人希望了解开源硬件，我非常荣幸能和大家一起讨论开源硬件和创客文化，今天跟大家分享三个方面的内容。

- 如何借助开源硬件高效地实现想法
- 如何借助社区的力量让原型迅速成熟
- 如何从小批量试产开始产品化，并开拓市场

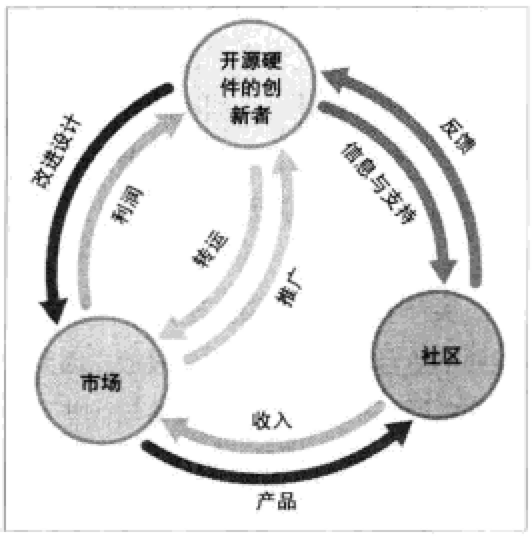
首先介绍一下我的工作室——深圳矽递科技有限公司（Seeed Studio），它是开源硬件业内著名的促进者，提供快速开发工具和服务，帮助小型创新者将想法产品化。

我接触过一些开源硬件，首先就是Arduino，它不是最早的开源硬件产品，却是现在最流行的。围绕着它，产生了很多的创新，比如3D打印机、DNA设备、LED功能装置等。

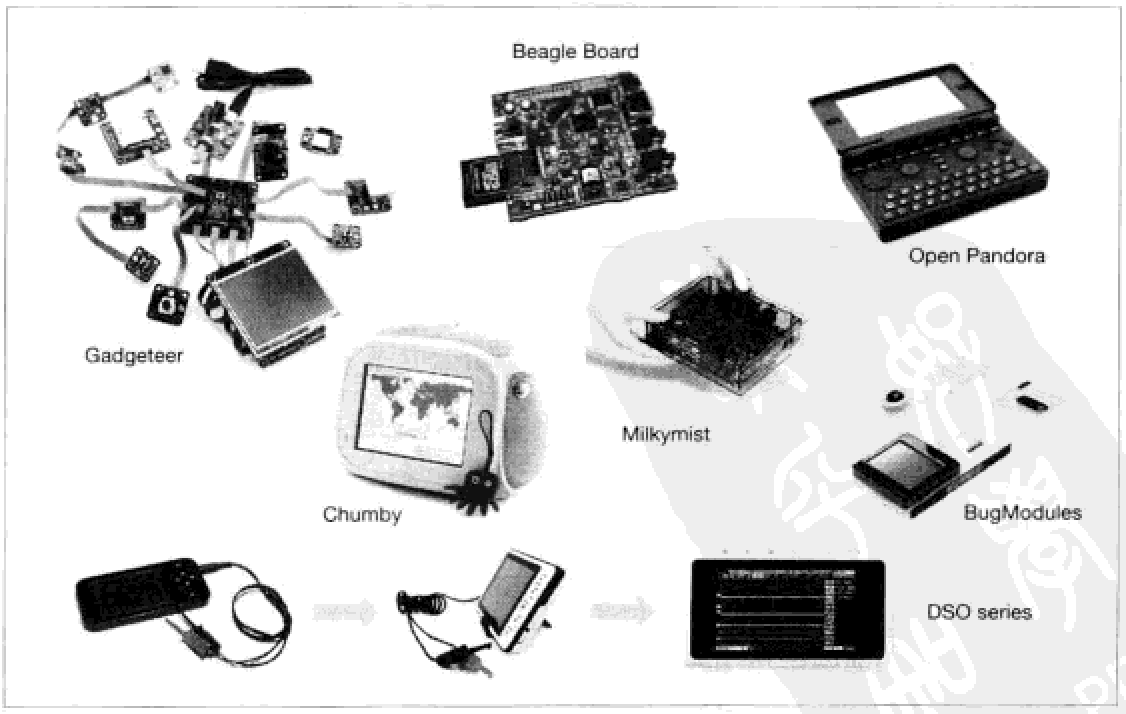
除了Arduino，一些更多、更高级的产品也不断诞生，比如微软的Gadgeteer，它是利用模块化的方式来实现创新。BeagleBoard是TI的一款产品，存在有一段时间了，源代码等设置可以很方便地帮助大家实现创新。Open Pandora是一款性能不亚于PSP的，但是全开源的设备。Milkmist是一款用来做视频效果的VJ装备。Bug Modules是一款在艺术领域或者军工领域应用得比较多的的嵌入式设



基于Arduino的一些周边产品



帮助小型创新者将想法产品化的过程



其他的一些开源硬件

制作数据记录器所需模块

Upverter——开源硬件交流平台

备。Chumby是一款桌面形的显示设备，它能够连接到互联网，可以很方便地做一个整合的、方便的、小型的桌面设备，包括我们工作室推出的一个小的示波器系列，在开源的支持下也在不断演变。

有了一个创意，如何用开源的方式去实现呢？首先我们可以拿到相应的模块，就好像乐高的积木一样，搭建成一个可以用的原型，例如，做一个数据记录器，上边有控制器、RTC、电池、无线传输、存储卡等。

因为采用的模块都是开源硬件，可以很方便地将原理图进行摘录、合成，进行必要的增删调整。然后在这个已经证明可行的原理图上重新布板、打样，再进行验证，这样我们就有了一个新的开源硬件。根据开源版权的要求，我们需要将基于开源设计的原理图和源代码公布出去。

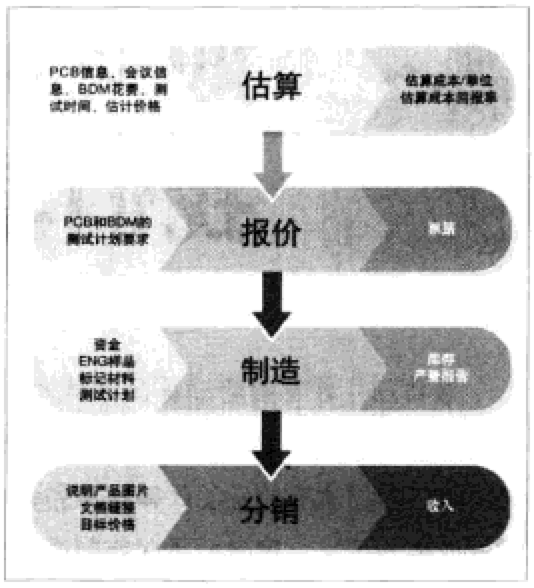
有了第一步，我们如何让原型在社区的帮助下迅速成熟呢？首先我们需要把它放到一个方便交流的地方，如Upverter（upverter.com）、Github或者Thingiverse（www.thingiverse.com）之类的地方。当我们把源代码发布之后，我们就可以和用户一起来开发，和用户一起去组装样品、验证功能，并且接受用户提出的一系列意见，用户的意见完全出于自身兴趣，不涉及费用问题。

开发到一定程度之后，我们就可以利用诸如Kickstarter（www.kickstarter.com）这样的平台来募集资金。Kickstarter网站致力于支持和激励创新性、创造性、创意性的活动。通过网络平台面对公众集资，让有创造力的人获得他们所需要的资金，以便使他们的梦想有可能实现。发布者在募集资金的过程中可以了解产品的市场接受情况和需求量，还可以根据自己的想法来设计一定的标准，例如，300美元可以得到一个量产原型，500美元得到定制版本之类。当开始生产之后，我们起初可以少量进行，例如，第一次只生产100个左右的试产产品。

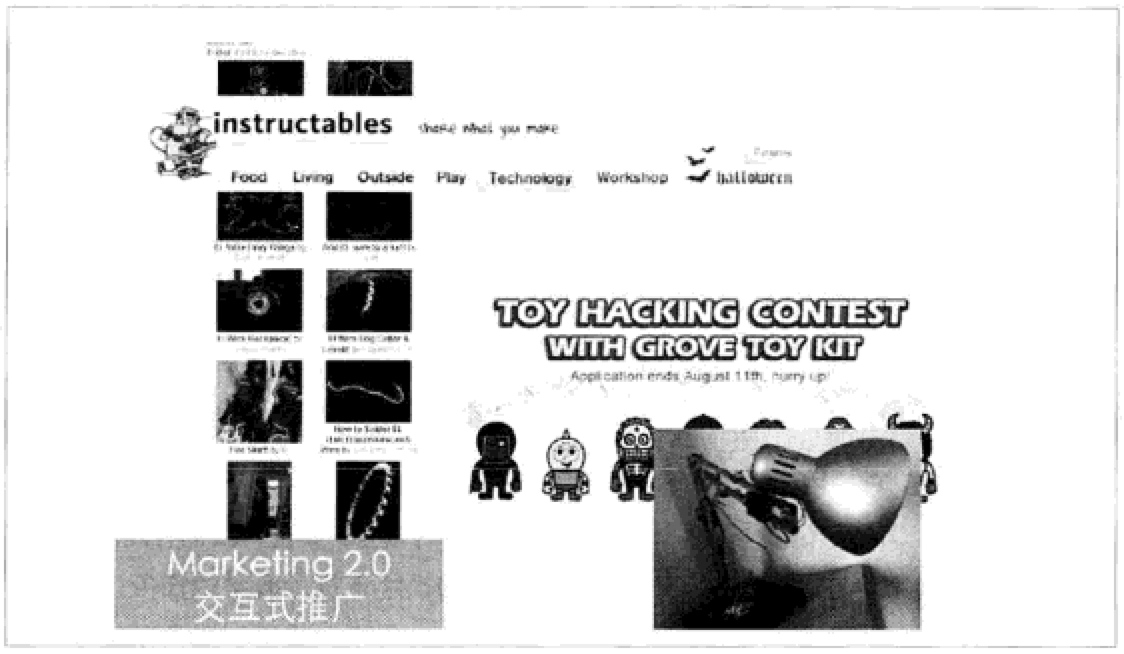
我们需要让它继续成熟并产品化。当需要进一步产品化之后，就需要更严肃地对待这个产品，包括拥有完整的信息、PCB资料等。通过一个严谨的流程，做一下预算。也许这是一个很小的产品，但是放到全球化的市场上，就会有很多的需求者。到此程度，你就可以获得一些回报了。

关于推广，其实在开源硬件里，可能并不适合做一些大的广告投放。因为社区非常活跃，因此可以通过参与一些竞赛等方式进行推广。例如，某项竞赛将Toy Hacking的套件发布出去之后，得到了20多件回复，其中较为有意思的是一件类似

在Kickstarter上募集资金



生产流程



参与竞赛是进行推广的好方法

支持者为Bus Pirate设计的外壳

皮克斯的跳跃台灯。总结起来，社区里的群体的想象力会大大超过工具制造者的预期。目前有越来越多的人将自己的套件或者制作过程发布上去，期待中国也有越来越多人参与。

当将产品发布上去之后，可能会有越来越多的人接受并购买，这时发布者就需要很积极地去支持用户，同时你也往往会得到用户的支持。例如，有人将某个电路板发布上去之后积极地整理论坛，用户发现这个电路板没有外壳，于是很多人自发地为这个产品设计了外壳。

以下是我整理的一些参考资料，希望对大家进行开源设计有所帮助。

■OPEN-SOURCING THE ENGINEERING (DESIGN) PROCESS

http://www.openhardwaresummit.org/wp-content/uploads/2011/09/Wozniak-OHS2011.pdf

■Dangersprototypes.com

http://dangerousprototypes.com/docs/Main_Page#Projects

■Interesting Resources:

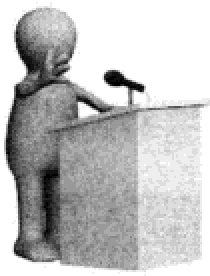
eDA: www.upverter.com www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-software/product-overview/

Sourcing: http://www.octoparts.com/ www.thingiverse.com

Manufacture: http://p.seeedstudio.com/

Funds: www.kickstarter.com

Community: www.instructables.com



如何利用创客空间帮助我们学习

◎顾学雍

编者注：顾学雍老师现任清华大学工业工程系副教授，他正在开发一套“玩中学”的学习活动模式，并已在国内多所大学中，开始实验性地建立Toyhouse学习空间。Toyhouse的工作方式，是帮助学生将其主导的创意结合到必修课程体系的学习活动中，如基础数学与毕业设计等科目的教学实践。该教学成果受到多方的肯定，先后获得清华大学工业工程系教学探索奖、北京市教学成果一等奖，顾教授被教育部选聘为CDIO工程教育及实践研究小组专家，同时担任联合国教科文产学合作教席特聘顾问。

CDIO工程教育运动(The CDIO Initiative)是自2000年来国际工程教育界的一个重要发展。CDIO代表构思（Conceive）、设计（Design）、实现（Implement）和运作（Operate）等产品生命周期的4个环节，它主张工程学院的毕业生应当具备从产品构思到运行的产品生命过程所需的各类知识与技能，而学校的课程与资源配置的目标就是让学生以主动的、实践的、课程之间有机联系的方式学习工程。为了贯彻这个主张，CDIO提出了关于学习课程大纲、学校工作环境，以及学生与教师评鉴等12项标准。而荷兰的Eindhoven 科技大学，更进一步地提出了一个称之为Design Centered Learning(DCL) 的教学模式，在CDIO抽象的课程大纲之外，DCL 还提供了多层次的学习活动与教学环境的设计模版，有针对性地训练学生在工程基础知识、个人能力、人际团队能力和工程系统能力等层面的素质。自2007年起，顾教授积极地向国内外大学介绍CDIO的概念与DCL的学习模式。目前，国内清华大学的工业工程系、东北大学的生物医疗信息工程学院、宁波职业技术学院，以及北京石油化工学院等学校，已开始实验性地采用上述的理念，设立了Toyhouse学习空间，并取得了初步成果。

大家好，我是清华大学工业工程系的一名教师，工业工程系的专业特色是建立跨专业领域的产品或服务系统。而本系的教学目标就是为了培养具备整合跨学科专业技术的工程人才。为了系统化地开展跨领域的学习活动，我在2007年起在清华创立了Toyhouse工作室，Toyhouse的目标是利用安全而有趣的科技，建立学习活动所需要配套的物理与信息共享空间(http://toyhouse.cc)，这个目标与国内外正高速发展的创客空间(MakerSpaces/HackerSpaces)不谋而合，因此从2011年4月起，Toyhouse开始经常性地参与创客空间的各类活动。在与创客空间创始人Mitch Altman 会面后，我决定把Toyhouse定位为在校园内的创客空间。

创客空间已在校园中存在许久，例如MIT的MITERS创客空间，在20世纪70年代就已成立。MITERS最近一任的总裁Star Simpson女士从2011年10月份开始来到北京创业，并且经常参与Toyhouse在全国各地的活动。这些人的到来，对衔接国内外创客组织有巨大的帮助。Toyhouse与所有的创客空间，或者是其他在校园中的科技社团有一个主要的差异。Toyhouse的一个工作任务是把创造产品的经验或理念融入大学的正规教学课程内。为了达成这个目标，Toyhouse不是仅有学生成员，也有许多教师的参与。目前，我们有几位分布各学校的教师来执行教学的任务，他们在教学的过程中，修正学习活动的格式与基础建设。Toyhouse也有许多资深的教师成员，如联合国教科文组织的产学合作讲席教授查建中，查教授的主要工作是为Toyhouse制定长期的工作方向与战略，并且负责对外的协调工作，例如说服学

宁波职业技术学院的创客空间：Toyhouse演播室

应用数学课的实作环节，组装一个四旋翼飞行器

校领导，释放行政与财务资源，让学生参与Toyhouse举办的各项“玩中学”的活动等。

创客空间是一个鼓励参与者“动手做”的环境，它是一种自助式的科技产品孵化基地。广布全球的创客们，包括了各种不同的艺术家、成功的创业者、具备不同技能的工程师，或者是媒体记者。这些行动派的组织成员，将对任何参与创客空间的人员，如学生与教师，有着莫大的激励作用。我们希望利用全球创客空间的人脉，帮助学生与教师找到在网络或居住在临近的“业余辅导员”。通过创客空间的开放性活动，也就是老少咸宜的科技展示或文化竞技活动，打开学生与教师的视野，让学生与教师能够通过分布在各地的技术与社交中心，掌握全球化的科技文化潮流。类似创客空间这类草根性的文化创意组织，是学生与教师了解科技趋势与社会动态的的一个重要窗口。

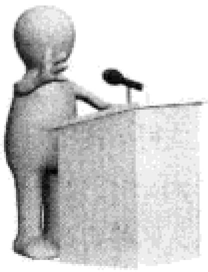
基于前述理由，我认为在校园内成立创客空间将有多重的价值。首先，学校，尤其是大学，原本就是一种培养学生面对社会的知性空间，然而校园附近的社会人士，通常有不得其门而入的感觉。全面开放所有学校资源，自然也不现实，所以校园内的创客空间，可以是一个接口的单位，让校内外的文化创意人才，可以经由这个窗口来合作。除此之外，不同类别的大学，也有其各具特色的专业人才与器材。在互重互利的前提之下，学校可以提供一些私人机构无法负担的资源，如大型的交流会场，或专业化的加工设备。这些人力与物力资源，对创意人的帮助是无法度量的。许多原创的想法，没有设备或专家的协助，只能无疾而终。然而，在不干扰教学与科研任务的前提之下，学校的基础建设资源是对这些文创人才最好的孵化条件。为了有效地管理这类人才与学校的互动关系，校园内的创客空间就成为了一个理所当然的组织。因此，校园内的创客空间不仅是提供自助式或个人化产品开发的地点，更是一个人才与知识交流的信息中心。据我所知，国内虽然有许多临近校园的创业园区，但是能以类似创客空间的活动模式建立的文化创意交流空间，仍然不多。

为了满足社会对校内创客空间的需求，我希望能把Toyhouse的运作经验，整理成为一种校园内创客空间的运作模式，让学生、教师与社会人士能通过Toyhouse分享和学习来自全球的创客经验与技术。截至2011年底，我们已经在北京、沈阳、宁波等地多所不同性质的大学组建了Toyhouse。这些位于不同学校的Toyhouse各有其专业领域的特长与地理上的优势，相互之间可以互通有无。值得一提的是，这些分布在国内各地的Toyhouse已经开始交换其所熟悉的工程专家，联络行政服务部门，以及就近地联系当地的创客空间。

北京石油化工学院于2011年10月举办的校园创客嘉年华

例如，上海新车间的创始人之一李大维先生，提议在宁波职业技术学院开发一个关于大学生创业的课程。在准备这个课程的同时，在上海大学的何琪辰同学所设计的超低价四旋翼飞行器，就成了一个创业过程中量产化的试金石。而我在清华大学开设的课程（产品）设计、全球制造战略等课程，也可以用来当作个人化的产品开发案例。同时，我在宁波职业技术学院开设的应用数学、产品开发等课程，已经开始运用在全球的创客空间开发的开源化软硬件产品设计中。而创客空间社区内的技术达人经常愿意就近地帮助学生解决使用这些开源软硬件的技术与概念难题。例如，在北京石油化工学院Toyhouse的同学，就得到了北京创客空间的几名专业工程师的协助，造出了一台3D打印机。 其动机一部分来自个人的善意，另一部分来自开源社区长年来所形成的一种互助性的文化。我也观察到一个现象，在学生接受技术支援的过程中，当体验到服务与被服务的快乐后，他们也自动地加入进这个双赢的游戏，壮大国内此类技术支持团队的阵容。

开源的活动不仅是一种娱乐，它也是一种开放性的知识交换机制，是知识产权在交易规则上的改变。新的知识体系必须建立在一个全新的知识供应链上。为了提高Toyhouse成员在这方面的深度与广度，我最近加入了由人民大学王春燕教授所领导的中国知识共享组织（cn.creativecommons.org）。我与王教授已经计划开展一些交换性的活动，我希望通过与知识产权方面的学者与专家的互动，强化创客们尤其是学生们对知识产权在学术界与市场中应用的游戏规则的掌握。同时，我们也希望能通过一些技术性的活

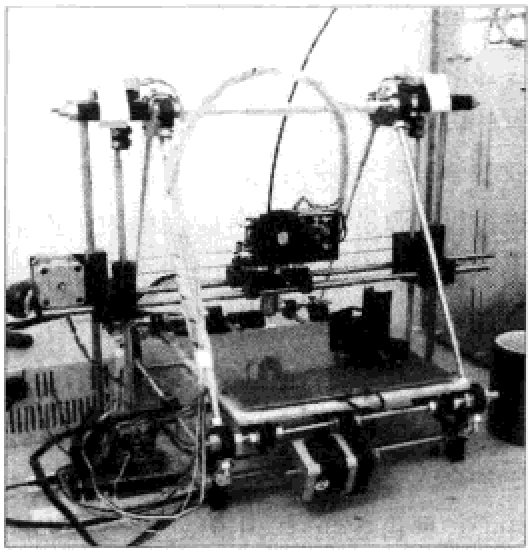


开源机器

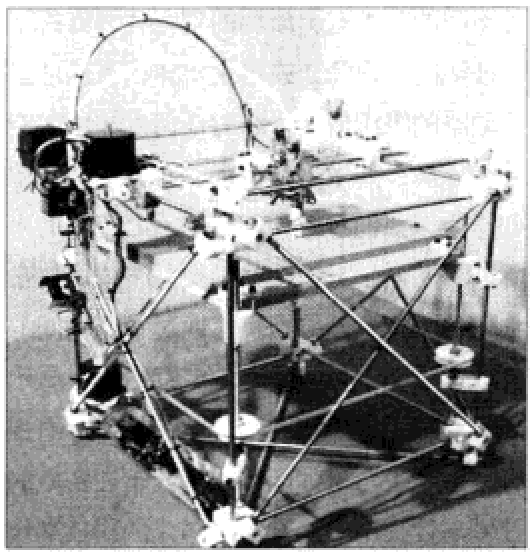
◎张浩

开源机器是将某种已经具备完整设计、具有实用价值的机器的机械设计图、电路原理图、PCB布线图、材料清单、HDL源代码、IC布线图等硬件设计材料和驱动这台机器所需的软件代码，以开源硬件的方式公布出来。它的主要目的就是让一个人可以从零开始制造出一个产品。

狭义的开源机器，是指具有硬件制造能力的开源机器（如数控机床），可以是已经存在的工业级机器的开源版本，也可以是一种全新设计的机器。



3D打印机——Darwin



3D打印机——Prusa

动，让学法律的学生直接感受到开发产品的快感。

除了在清华大学、东北大学、宁波职业技术学院以及北京石油化工学院等偏向理工方面的学校设立Toyhouse以外，我们已经开始与中央美院的彦风教授合作，将Toyhouse建设在美术类学院之中。如此一来，创客空间的社区中，将有更多拥有美术训练背景的参与者，我们相信这样的交流机制，将对创客们在美术方面的素养有所提升。

从教学资源的角度来看，许多来自创客空间的技术成果，并不需要使用昂贵的零件或加工器材，而是利用巧思与低价的废弃物创造出来。这些巧思需要经年累月的积攒才能凝聚成产品。最重要的是这些巧思对学生的启发。通过创客空间的人脉，我们可以邀请国内外的创客在课堂上为学生现身说法。当不同于任课教师的演讲人，以自身的产品开发经验，展示设计与制作过程的巧思时，我发现，学生能从许多不同的角度受到启发，更有理由去面对学习上的困难，而不是随意地放弃学习的机会。例如，何琪辰同学在宁波职业技术学院展示四旋翼飞行器时，我发现所有的学生都聚精会神地听他介绍。这比一个总是唱独角戏的课程安排更能吸引学生的兴趣。

接下来我要提到的是设备与技术。国内的职业技术院校里已具备相当先进的加工设备，职业技术学校的学生通常要比本科工程科系的学生更有机会使用这些先进的设备。为了使这些设备得到更有效的利用，把本科与专科的学生创意团队，跨学校、跨领域地结合起来，经常能创造出令人惊艳的火花。而引入正规教学体系的创客活动可以将这些有利条件充分发挥出来，让更多的学生在这些优势资源中得到更大的实践收获。

我希望国内的大学生，能够更主动地参加甚至组织创客空间的各类活动 。比如同今年10月16日，北京石油化工学院工程教育中心（Toyhouse的支撑行政单位）的几十名同学，便在多个学校与企业的资助之下，协同国内的几个创客空间，如北京创客空间、上海新车间、深圳柴火创客空间等单位，举办了国内第一次创客嘉年华的活动。在举办创客嘉年华的过程中，我们发现学生与教师都受到了多方面与高强度的锻炼，同时该活动也在相当程度上提高了学生与教师素质。

经过这次的活动，我们发现由学生举办校内的创客嘉年华，可以成为一个提升学习氛围与创造科系之间交流的重要活动。我们在活动举办过程中也发掘了许多系统性改进的机会。例如，现有的课程体系必须更有弹性地释放出学生的自由支配时间，让他们能够发挥个人的创意，参加或举办对开展个人与团队潜能更有收获的学习活动。在这个过程中，我希望Toyhouse能够不断地提供学生、教师及所有其他的参与者，一个分享快乐学习经验的“玩中学”平台。

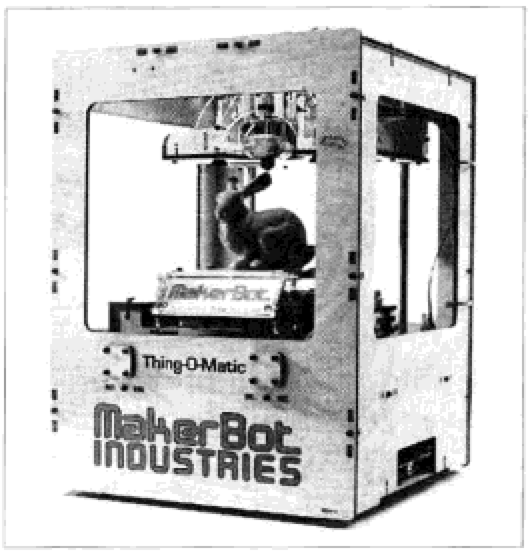
工业机器的开源版本

1. 3D打印机

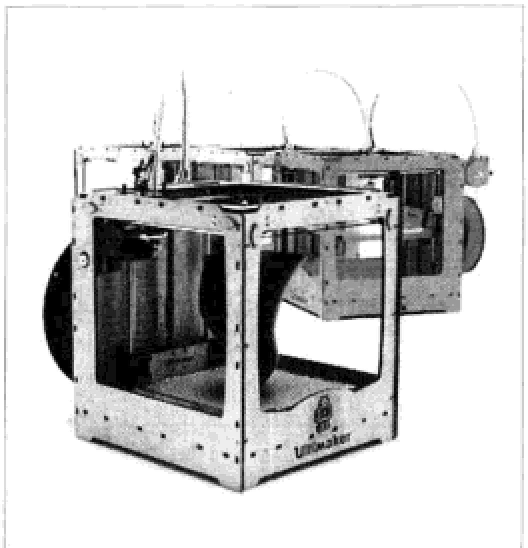
3D打印机又称快速成型机，是一种能在短时间内塑造出3D物体的机器，特别适合原型开发。在3D打印机中，RapRep是一个开源机器的典范，它是一个完全由开源社区维护并不断发展的开源机器典型。Prusa是RapRep目前发布的4种型号中设计最简洁的一种，从二代Mendel简化而来，它的最初原型是Darwin，第三代是Huxley，目前仍处在试验阶段。

Makerbot也是一款开源3D打印机，由于有Makerbot公司的运作而显得比RaPrep更精致。该机器的大部分机械结构使用激光切割机生产。

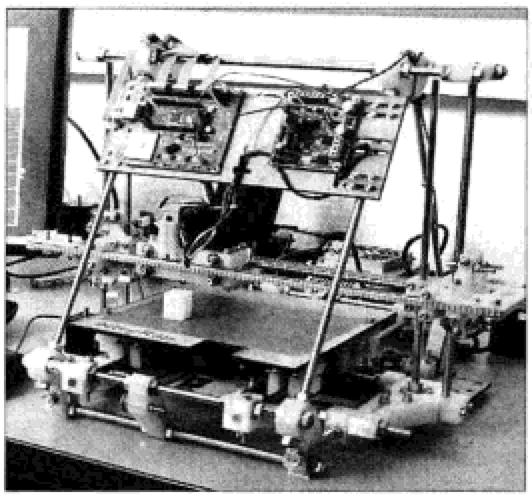
目前还有一款名为Ultimaker的3D打印机，类似于Makerbot。Ultimaker+是Ultimaker的实验性超长版本。



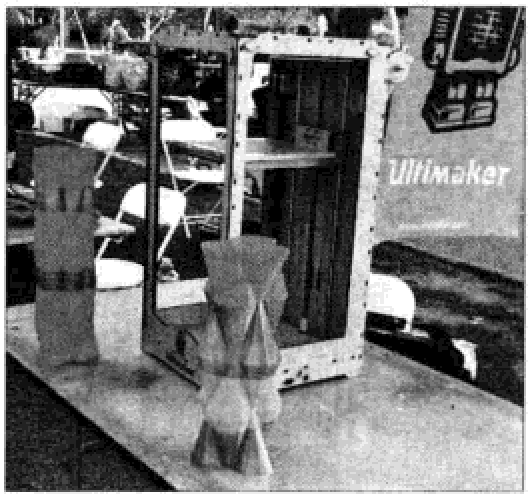
3D打印机——Makerbot



3D打印机——Ultimaker



3D打印机——Mendel



3D打印机——Ultimaker+

2. 数控机床

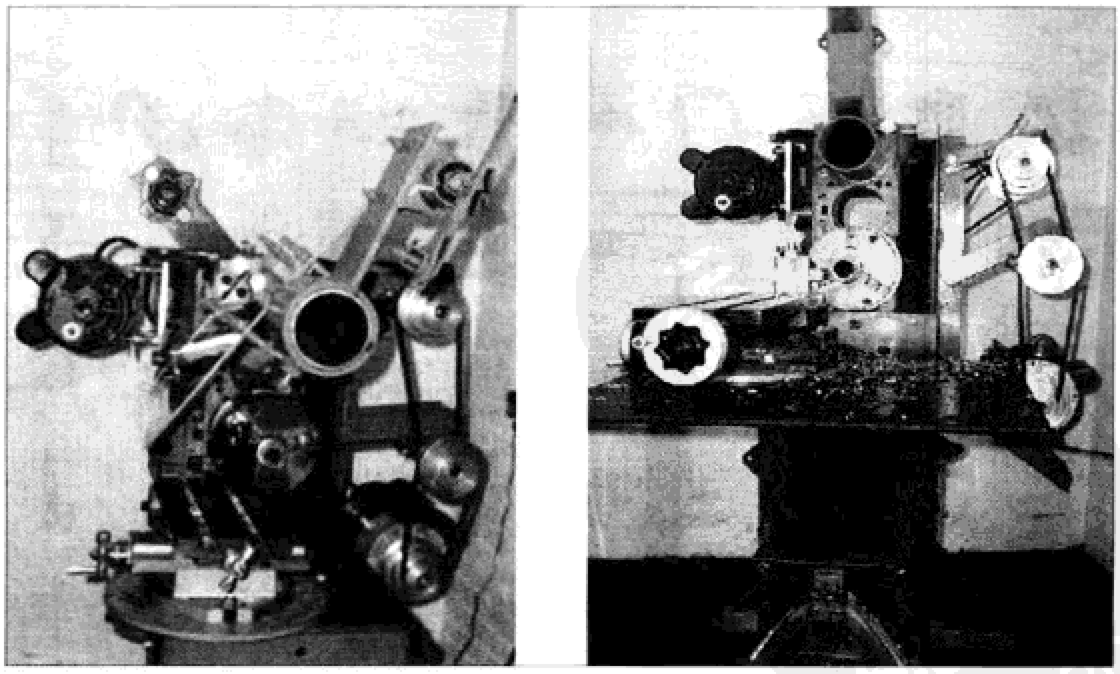
世界各地的创客在世界上最大的DIY社区Instructables.com上发布了12种不同的自制CNC机床的设计方案，由Instructables整理成了电子书《DIY CNC》发布。

Cnczone.com是一个非常活跃的讨论CNC技术的论坛，包括Laseraur在内的很多开源机器设计都与此论坛有关。

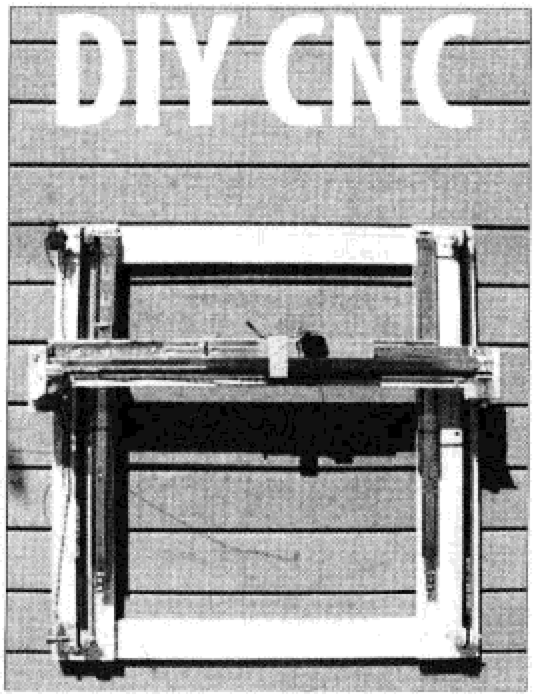
3. 激光切割机

激光切割机，通常用于三合板的切割，适用于快速制造板状机械件，调整功率后也可以用于织物及金属的切割。 Buildlog.net 2.x Laser （buildlog.net）是目前最完善的开源激光切割机。

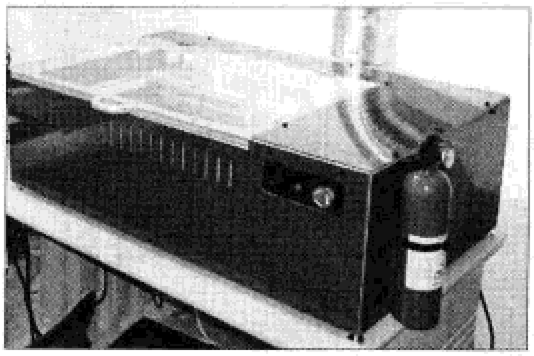
Laseraur（labs.nortd.com/laseraur/）是通过Kickstarter成功融资的开源激光切割机项目。项目仍在β测试阶段，尚未完全开源。



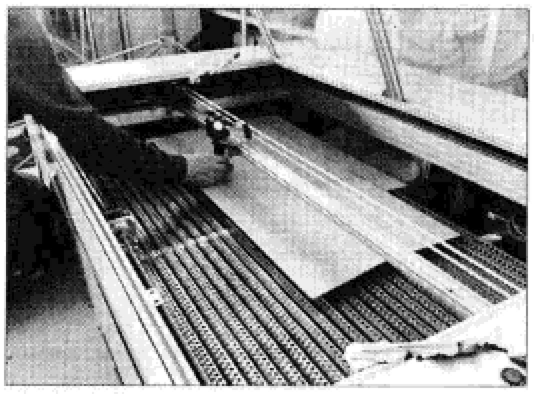
多功能机床Multimachine



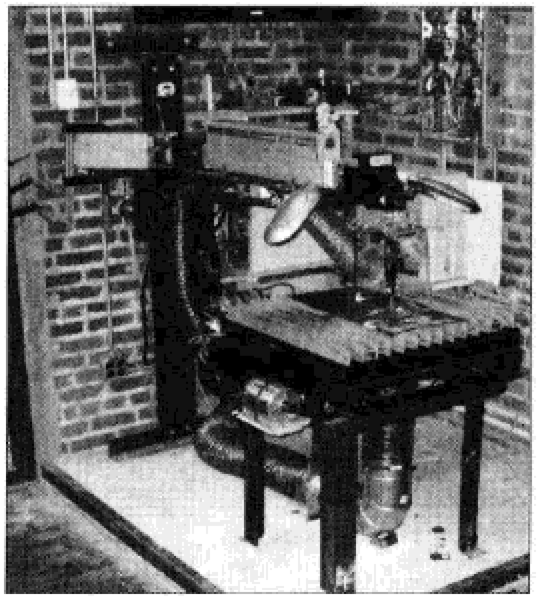
《DIY CNC》



激光切割机——Buildlog.net 2.x Laser

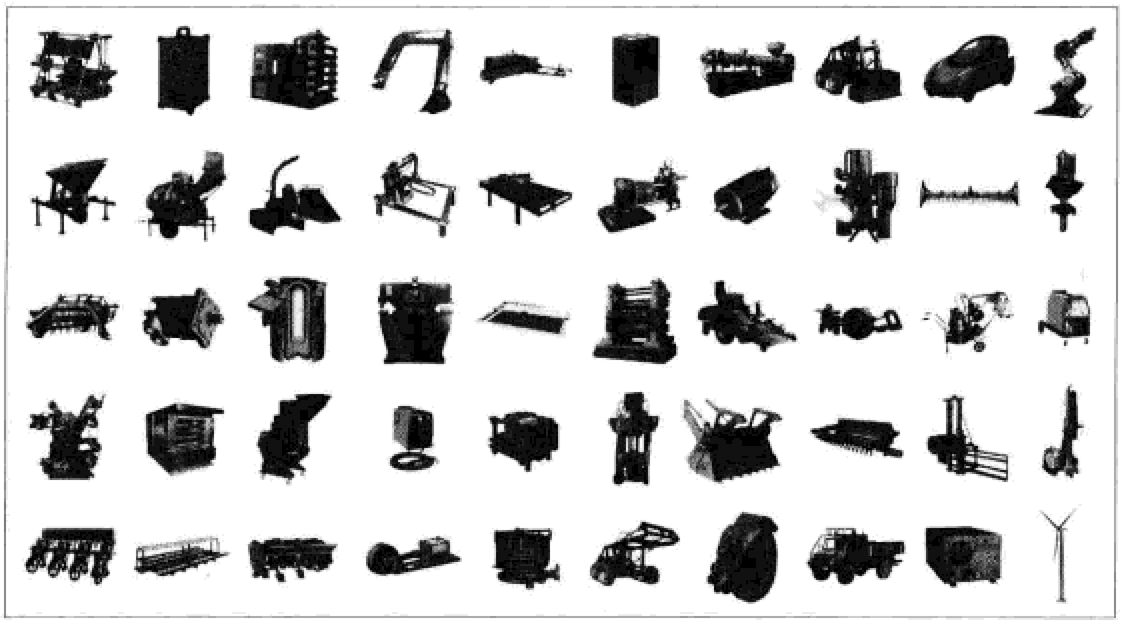


激光切割机——Laseraur



使用250W CO_2激光器，能切割金属的激光切割机

激光切割机——LAOS laser



Opensourceecology.org项目所包括的50种开源机器，我们将其外形刊登在此和本期封面上，欢迎感兴趣的读者了解并参与创新

LAOS laser（laolaser.org）使用开源的控制电路和驱动软件，配合商业激光切割机的机械结构，可以把使用激光切割机的方法简化到和使用打印机一样。

Multimachine（Opensourcemachine.org）是利用废弃的机械零件、动力元件制作的多功能机床。可以用纯机械方法来使用，并可针对实际应用，随时修改设计。

Opensourceecology.org项目包括了50种开源机器的集合，目前已经完成8种，其目标是——Global Village Construction set。

开源机器的集合

1. 开源制造类机器的意义

开源的制造类机器具有加工制造其他开源硬件、开源机器的能力，能够帮助创客迅速开发、修正原型。

开源的制造类机器（如3D打印机、CNC）通常都具有一定程度的自我修复能力。拥有第一台开源设备之后，从理论上说，设备的数量能以几何级数的方式增长，很容易就能做出数十到数百台设备，从而组建成一个小型工厂。

开源的制造类机器也为个人制造提供了可能的途径，让很多爱好者无需太多的专业知识，就可以通过使用廉价的制造类机器获得自己所需要的独特产品。

2. 开源机器的一般意义

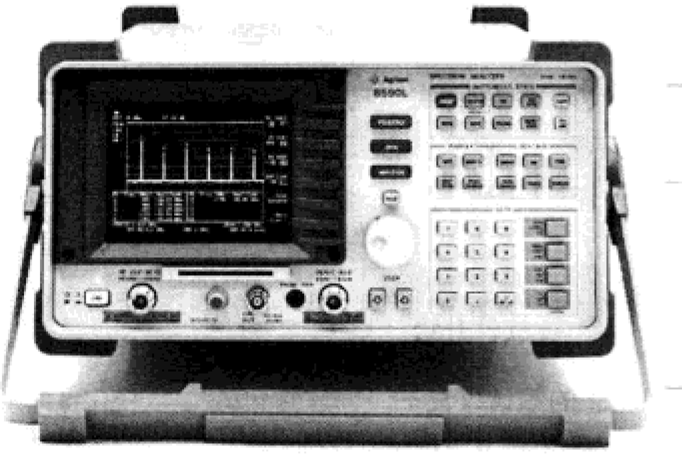
在发展中国家和地区，商业化机器的廉价版本更容易得到广泛推广和应用。这也让开源机器有了更多的社会意义。使用开源机器还可以让使用者在没有专业维修人员的情况下，自行排除故障，维护机器。

开源机器和其他任何软硬件开源项目一样，整个社区都可以为改进机器设计做出贡献，从而加速机器设计的优化。它甚至是工程教学的良好素材，让我们传统的工程教学可以更生动、更亲切、更具实践意义。

小型电子工作室仪器选购

◎杨法（BD4AAF）

频谱分析仪的选择



频谱分析仪是用来显示频域信号幅度的仪器，与示波器一起作为电子工作室的“左右护法”而存在。在现代射频实验室中，频谱分析仪、示波器、逻辑分析仪、矢量网络分析仪并称实验室“四大金刚”。频谱仪与示波器分属不同测量用途的仪器，相当于从不同的角度来观察一个信号。大家熟悉的示波器主要测量信号在时域上的波形，而频谱仪主要测量信号在频域上的幅度。虽然现代有些示波器提供FFT频谱分析功能，有些频谱仪也具有“Zero Span”的显示波形能力，但都远远不及对方专业的性能。因此，一般仪器配置齐全的工作室里，示波器和频谱仪都是必备的仪器，尤其是从事射频领域研发的工作室，频谱仪比示波器用得更多。但是，过去由于进口频谱仪价格向来很高，被看作高端仪器，限制了它进入小型电子工作室的机会。近年来国产频谱仪开始起步，仪器市场上一些低价的国产入门级频谱仪成为小型电子实验室的首选。

广泛的用途

频谱仪在射频领域有“射频万用表”的美称。频谱仪最基本的作用是显示一段频率范围内所有信号的电平幅度特征信息，因此被广泛用于测量信号的幅度（通过计算可以折算成功率单位或电压单位）和占用带宽。同时，频谱仪还用于信号搜索。例如，在实验室用来测量信号源的频谱纯度，即带外杂散和高次谐波的状况，在无线电通信领域用来监视空中无线电信号占用状况和分析信号特征。如果自己设计制作一个DDS或PLL频率合成器，通过频谱仪就能直观地观察到信号输出的特性，包括主频信号和谐波信号。对于眼下众多的非连续的瞬时信号，如移动电话的GSM信号、蓝牙信号、Wi-Fi信号等，利用数字频谱仪的信号最大值保持功能来捕获瞬时信号，然后对信号的幅度（功率）、频率、带宽等特征参数进行测量，可以弥补传统普通功率计和频率计只能测量连续稳定信号的问题。频谱仪在一定程度上可以起到传统仪器中高频毫伏表（用来测量信号幅度）、功率计、频率计的基本功能。

有的频谱仪具有附加跟踪信号源、高精度扫频仪或标量网络分析仪的功能，可以测量两端口网络（包括各种滤波器）的频幅特性，如果与电桥搭配使用，还能测试天线的频率驻波特性。在传统频谱仪基本测量数据的基础上，现代数字频谱仪通过内置软件可实现众多扩展的自动或半自动测量功能以及针对特定制式的信号分析功能，对一些热门制式信号可以优化测量方法，进一步扩展了频谱仪的应用范围。另外，除了传统上对特定信号源的测量，在新兴的电磁兼容EMC测试中，频谱仪成为不可或缺的主力仪器。

频谱仪还有一个“近亲”——“信号分析仪”。信号分析仪可以理解为高精度、高指标的频谱分析仪，同时增加了更多测量软件功能，能更准确地测量和显示一个信号的特征。信号分析仪往往比频谱仪更为精密、更为昂贵。

深入认识频谱仪

频谱仪从线路结构上分为老式的模拟线路和现代化的数字结构。数字化频谱仪显示的频谱图是经过微处理器处理后生成的，在显示的美观性和数据的易读程度上有很大的提高，同时也方便将频谱图加以数字化保存。最重要的是，微处理器的加入使得数字频谱仪有了更多的自动测量功能和拓展功能。

显示方式

数字频谱仪不再需要带刻度的示波管。早期数字频谱仪采用电视机显像管作为显像之用，频谱图的背景刻度由微机直接以合成图像的方式显示。由于大部分机器都具有了测量幅度数字化直接读出功能，背景刻度越来越多地成为怀旧的装饰用途。现代数字频谱仪继单色液晶屏后，更是全面采用彩色液晶屏来显示，就像液

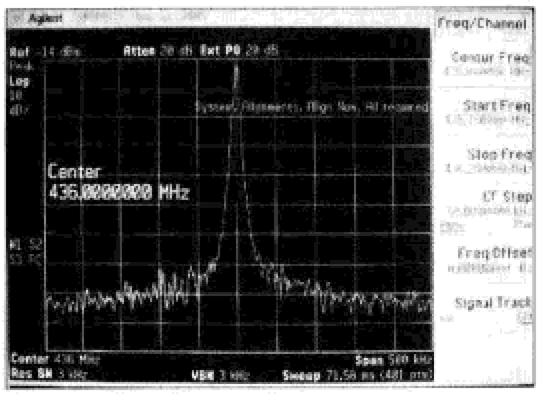
晶显示器代替CRT显示器一样。液晶屏的广泛应用不但一定程度上减轻了频谱仪的整机重量，而且缓解了CRT显像管老化的问题。

软件升级

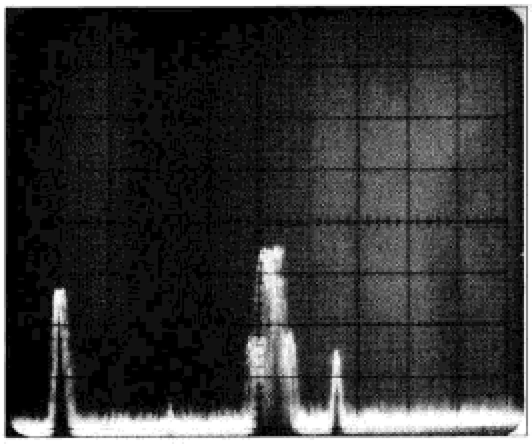
现代化的频谱仪进一步向软件化方向发展，厂家可以通过软件升级的方式来为频谱仪增加功能，用户甚至只需要购买特定功能的授权码，就能在频谱仪上“激活”使用相应功能或特性。

频率发生设计

目前，低端的模拟线路频谱仪也有两种档次，主要区别在频率发生的设计上。早期的产品采用多圈电位器控制VCO频率改变，中心频率显示实际上是通过一个频率计实时测量来实现的。这样的设计虽然成本低，但频率稳定性较差，分辨率低，使用起来中心频率容易“漂移”，频率调节不够精细。典型的代表产品是安泰信的AT5xxx系列。后期，随着DDS数字频率直接合成技术的普及和关键芯片的降价，很多模拟线路频谱仪将VCO改为DDS频率合成电路，配合TCXO温度补偿晶体作为频率基准，使得频谱仪整机频率稳定性得到很大的提升。在控制电路方面，电控电路和数控电路的使用增加了仪表的现代化操作感觉。这类产品在频率基准和控制电路方面向数字化过渡，在控制整体成本的前提下，提高了频谱仪的实用性和测量性能。用模拟线路频谱仪来观察信号的存在以及大致的幅度和占用带宽情况还是颇具实用性的。



数字频谱仪的显示界面


模拟频谱仪的显示界面

工作频率

频谱仪的工作频率范围是大部分用户首先关注的指标，这也关系到频谱仪适用范围。除了一些为特定用途设计的音频频谱仪和低频频谱仪外，频谱仪的工作频率一般都是向高频率方向发展。目前，最高频率的频谱仪工作频率可以到达50GHz，并可以通过额外的混频器扩展至325GHz。通常，同一性能级别的频谱仪，工作频率越高，价格也越高。一般基础应用的频谱仪工作频率范围多在1～3GHz，早期无线电领域使用的频率大多不高，所以当时对应的频谱仪最高工作频率都在1～2GHz。

随着科技的发展，1GHz以上的频率应用剧增，我们的双频GSM移动电话的第二波段DCS1800就占用1.8GHz频段，联通WCDMA工作在1.9GHz和2.1GHz频段，我们熟悉的Wi-Fi和蓝牙工作在2.4GHz。所以，时下中小实验室配置通用型频谱仪，首选工作频率到3GHz的产品，同时价格上也比较经济。对于专业的微波、雷达、EMC等应用，则需要更高的频率范围，高工作频率的频谱仪目前主要有13GHz、26GHz、40GHz的产品。

频谱仪频率参数还有一个最低工作频率，标志着频谱仪对信号处理的能力。一般高端产品可以做到Hz级，经济型产品做到9kHz左右。由于大部分购买频谱仪的用户主要都是射频范围的应用，所以最低工作频率通常并不太引人关注。

其他指标

频谱仪的最高工作频率只是频谱仪标志特性知名度最高的一个参数，与频谱仪测量性能更相关的常用参数还有最小分辨率带宽、动态范围、平均噪声电平、相位噪声、总体幅度精度、三界交调截获、处理速度等。对于信号分析仪，还有一个指标是最大分析带宽。

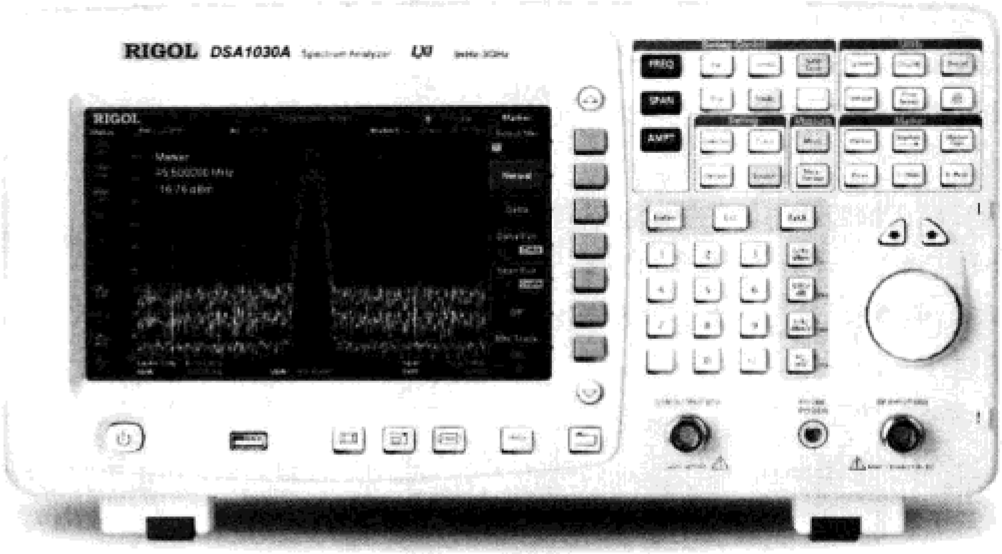
最小分辨率带宽即RBW，关系到对信号的显示和测量性能，中高级的频谱仪可以达到1Hz级，应用级产品可以达到30～100Hz水平，而一些入门级产品只有20kHz，常规简单应用一般需要1kHz左右的分辨率带宽。如果分辨率不够，在测量一些窄带信号时就不能很好地展现其频谱特性，甚至会产生测量误差。

平均噪声电平关系到频谱仪测量和发现微小信号的能力，它与相位噪声都是频谱仪实验室级高端应用的重要指标。随着元器件性能的不断提升，主流高端频谱仪的平均噪声电平基本都可以优于-160dBm，而主流应用级产品可以到达-125dBm。

现代频谱仪内置的测量软件已成为频谱仪扩展测量功能的重点。频谱仪的基本应用只是在适当的频率范围（带宽）内显示信号占用情况和幅度，如果利用一些频谱仪内置的测量软件对特定项目进行测量，将达到事半功倍的效果，不但大大提高了工作效率，而且减少了人为干预，优化了测量方法，使测量数据更为准确。中高级的频谱仪常见的内置功能有占用带宽、信道功率、邻道功率、EMC/EMI的测量及蜂窝移动通信测量和无线网络测量等。

体积大小

频谱仪按照体积和搬运方便程度分为桌面固定型、便携型、手持型。



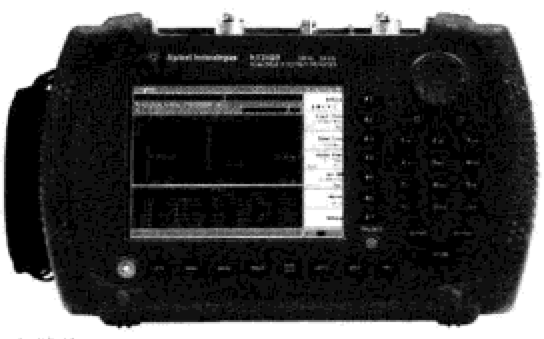
普源DSA1030A

一般中小实验室和教学单位应用得较多的是便携型频谱仪，过去的HP8590、HP8591、HP8594、HP8563和现在主流的E4403B、E4407B都属于此类。它们的机身上都可以安装上一个提手，仪器面板都带保护罩外壳，有防撞设计，有些频谱仪后部还能选配电池供电选件。

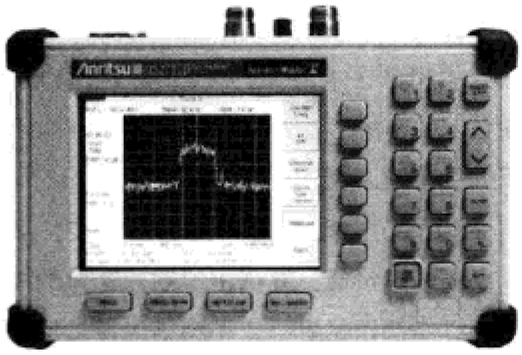
便携型频谱仪用途广泛，放在桌面上，甚至机架上，就能很好地当固定仪器使用，仪器一般具有通信接口，方便用于系统集成和数据采集，携带外出作业也比较方便，可以放置在汽车后备箱内运输，一般单人单手就能提起（典型的E4403B约15kg）。手持式频谱仪是近年来开始流行起来的产品，具有携带方便、操作灵活的优点，深得现场操作人员的赞赏。安捷伦、罗德与施瓦茨、泰克是业内顶尖仪器制造厂家，都有自己的手持频谱仪产品，并各有特色。国内常用的安捷伦N9340B和罗德与施瓦茨的FSH3以及泰克的YBT-250重量都只有3~4kg，重量相当于一个大号的笔记本，大小也完全可以放入一个笔记本包内，真正做到了“便携”。

手持式频谱仪的一些指标，如相位噪声等，确实没有台式频谱仪高，但其基本性能，如灵敏度、分辨率带宽、动态范围，对于大部分的现场测量分析工作可谓绰绰有余，所以大量运用在现场快速卫星通信系统架设和维护、通信运营商的基站维护和干扰监测、航天国防的无线电雷达测试和现场维修、无线电管理机构的干扰查找和分析等领域。

此外，很多手持频谱仪还一机多能，通过选件可以实现功率直接测量、信号调制分析、AM/FM解调侦听、场强测试、天馈系统测试等扩展功能。手持频谱仪渐渐成为市场的宠儿，在二手市场上，手持频谱仪价格坚挺，供不应求。



安捷伦N9340B



安立手持频谱仪

选购建议

由于频谱仪属于高价值仪器，所以小型电子工作室如果打算配置频谱仪，要根据预算和实际应用需要来综合考虑。

目前，市场上低端廉价频谱仪以第一代产品AT5xxx系列模拟线路频谱仪为代表，随着第三、第四代产品的上市，第一代频谱仪的价格已经有很大的回落。典型的AT5010 1GHz基本型频谱仪，市价仅在2800元左右，可以搭配使用频率扩展组件工作在2GHz和3GHz频段。AT5010基本可以满足移动电话手机维修、简单的射频电路实验与教学、业余电台爱好者的电台及对讲机的调试和维修、简易非定量频谱测试的需要。 AT5011为附加跟踪信号发生器的机型，工作频率最高在1050MHz，市价在3600元左右。增加的功能可以用于滤波器和双工器的初级调校，配合驻波电桥，还能测量天线等器件的传输阻抗的频率特性，比使用老式的扫频仪方便得多。总的来说，这一档次的频谱仪主要适合初级应用，可以展现信号的基本特征，但频谱图和信号幅度测量不够精确，不适合应用于精密测量和微小信号的检测。

AT6xxx系列是第三代频谱仪产品，通过采用DDS数字频率合成技术和TCXO晶体，这使得产品的工作频率稳定性有了很大提高，改进了的线路也使得产品的测量性能有了一定的提升。这个系列的产品还加入了参考电平有限选择功能，拓展了显示范围。经过上述改进，AT6010基本型频谱仪市价在5000元左右，带跟踪源的AT6011市价在6500元左右。

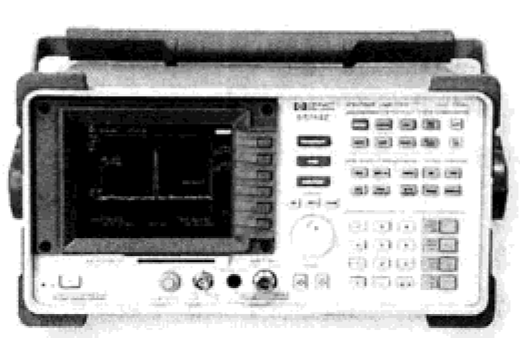
以制造数字示波器闻名国内市场的普源精电近年来也开始涉足频谱仪市场，并且首款产品就是高起点的全数字中频技术频谱仪。其产品目前有两个系列，分别是经济型DSA1000系列和性能优先的DSA1000A系列。这两个系列产品的操作界面和软件显示界面完全可以与国外品牌媲美。目前市场上最便宜的普源频谱仪是DSA1020，市价不到20000元，具有全数字中频结构，最高工作频率可以到

2GHz，分辨率带宽最小到100Hz，厂家公布的基本指标完全满足普通小型工作室的基本测量和开发应用的需求，可能是市面上最具性价比的全新数字频谱仪。

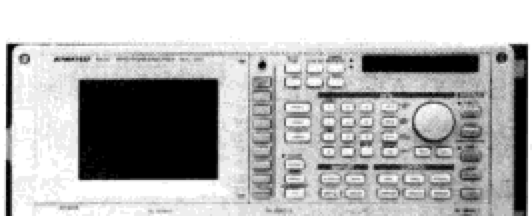
国货频谱仪公认的著名厂家除了普源精电和安泰信，还有中国电子科技集团公司第41研究所，其产品为不少大专院校所采购。

安捷伦和罗德与施瓦茨的频谱仪在国内比较多见。泰克的实时频谱仪比较有特色，对于需要捕捉偶发或瞬时信号特别有利，国际名牌的频谱仪性能指标通常被认为更为可靠。国际大厂考虑到各个用户层的需要和消费能力，在推出高端顶尖产品的同时，也不忘提供经济型产品。安捷伦的E4403B、E4411B、N9320B和罗德与施瓦茨的FSL都是性能不错的经济型频谱仪，如果你有较高的预算，选购国际名牌的频谱仪产品绝对没错。需要注意的是，即使是同一型号的频谱仪，根据安装选件配置的不同，价值也有所不同，选购对比价格的时候应该了解得更详细一些。

频谱仪的应用分简单通用性测试和专项测试，占用带宽、信道功率、邻道功率以及特定制式数字通信信号的详细测量都属于专项测试。如果你的工作需要涉及专项测试项目，建议选购具有附加对应专项应用功能的频谱仪，内置的针对性测量



HP8594系列频谱仪



爱德万R3131A频谱仪

模式和功能将大大提高工作效率和测试准确度。如果你需要经常检测非常微小的信号，那么就需要考虑平均噪声电平低的频谱仪，这类频谱仪通常是比较高档的产品。

二手频谱仪的选购

对于大部分预算有限的小型工作室，想使用进口名牌频谱仪以保证性能，那么考虑二手货或许是比较经济实惠的选择。

二手频谱仪中首推的是美国惠普（HP）的频谱仪，这是业内公认最经久耐用的频谱仪，充分体现了美国仪器的风格。惠公司是现在著名的安捷伦（Agilent）公司的前身，产品品质和技术毋庸置疑。市场上较多见的二手惠普频谱仪有实用的HP8590/HP8591系列、高性能的HP8594系列和高工作频率的HP8563E。一般HP8590/8591系列的二手机价格在8000～20000元，视配置而定。通常带跟踪信号发生器的频谱仪由于用途更为广泛，价格会高一些。二手市场上也有一些惠普老款模拟线路的频谱仪，虽然便宜，但不建议购买，一方面是因为其测量性能不能满足现代测试的需要，另一方面是机器过于老旧，故障几率很大，准确性方面也打折扣。

除了惠普品牌，二手频谱仪中日本品牌的频谱仪在价格上更加实惠。安立（ANRITSU）、爱德万（Advantest）的频谱仪性能也很不错，实用性强，性价比高。3500元左右的ANRITSU MS610C 2GHz频谱仪适合初级应用，15000元左右的ANRITSU MS2601B 2.2GHz频谱仪和Advantest R3131A 3GHz频谱仪可以基本满足小型电子工作室的常规应用。

手持频谱仪方面，ANRITSU 2711系列在二手市场上比较多见，是一款性能不错的手持频谱仪。

选购二手频谱仪，验货很重要。频谱仪属于高价值、高精密仪器，专业的校准和维修费用昂贵。二手频谱仪最常见的问题是基准频率偏差过大和信号幅度测量偏差大，前者常是由于频谱仪基准晶体老化或出现故障导致，一般可以通过调校进行校准，后者常是由于大功率信号输入频谱仪，导致内置衰减器损坏或衰减器电路工作异常，一般需要硬件维修衰减器单元。

测试频谱仪最好的方法是用信号发生器来检验频谱仪测量幅度和频率是否正确，连续改变信号发生器输出电平，对照频谱仪测量读数变化。很多中高级频谱仪内部软件都有自检程序，可以检测各个单元的基本工作状况，不妨通过自检来判断频谱仪的基本健康状况。

常用附件

衰减器是频谱仪最常用的器件。频谱仪端口允许输入的信号功率很小，遇到高功率的大信号，就需要使用衰减器将信号等比例缩小后再进行测量。衰减器分功率型衰减器和小信号衰减器，都是按一定比例来缩减信号的幅度，只是承受功率水平和散热要求不同而已。对于测量较高频率的信号，需要注意衰减器是否支持该工作频段，超出衰减器设计频率范围，可能会使衰减精度和传输匹配劣化。通常需要准备多个各种衰减量和功率的衰减器，供不同应用的需要。

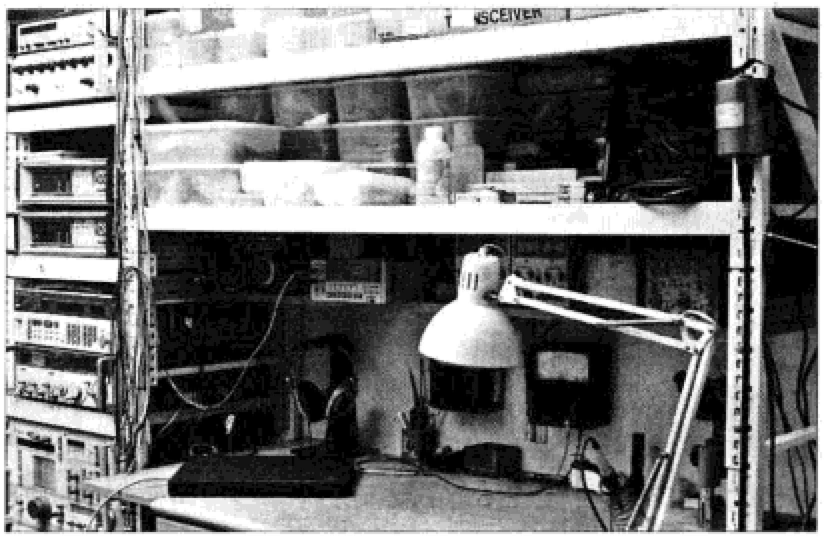
线性放大器是用来提升频谱仪输入灵敏度的附件，通常提供10～30dB的增益用来检测微小的信号。线性放大器内部使用低噪声放大电路，以减小本底噪声的干扰。

驻波比电桥是射频标量阻抗测量仪器，配合有跟踪信号发生器的频谱仪，构成扫频驻波比测量系统，可在设定工作频段内直接显示被测器件驻波比的频率特性。驻波比电桥虽然结构不复杂，但要做到在大频率范围内稳定工作并非易事，一些大厂生产的电桥价格高至数千元。网上一些业余无线电爱好者出售手工自制的驻波电桥，实测下来性能不错，价格便宜，只要一二百元，对于预算不多的小型工作室完全可以考虑。

晒晒我的工作室/实验室

◎王东平（BA1AAX）

工作室是用来干什么的



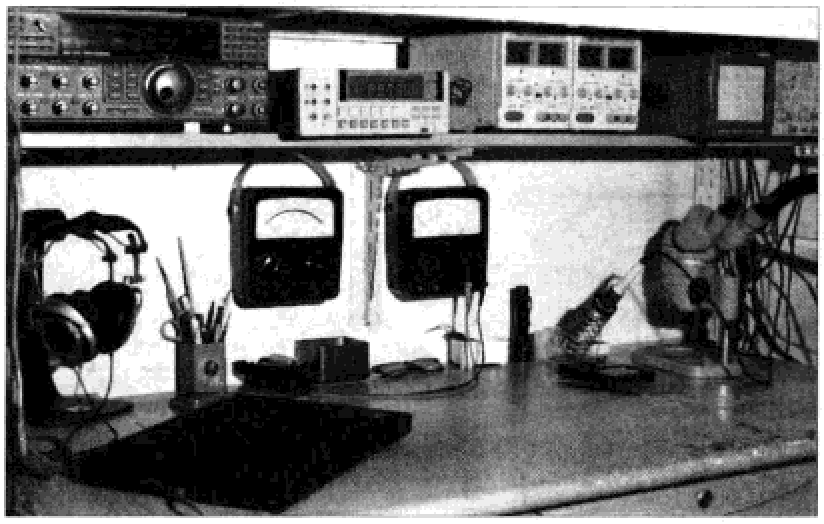
工作室是个空间，每位爱好者的家中都会有一个自己的专属空间，依具体条件及爱好者在家庭中的地位，这个空间或大或小。小时候，一个抽屉就是我的工作室。如今，俺已贵为家长，家里到处堆积着自己曾经渴望得到而如今能够得到的东西，因此，专门用一个房间做工作室就是必需的。“好地方都让他占了！”，在家人看来，工作室真的没啥用。确实，相对于工作而言，所谓工作室，更多时间是用来独自体验幸福和享受满足的发呆场所。

工作室太乱，不好“晒”，来看看俺的工作台吧，称得上功能和性能的完美体现！

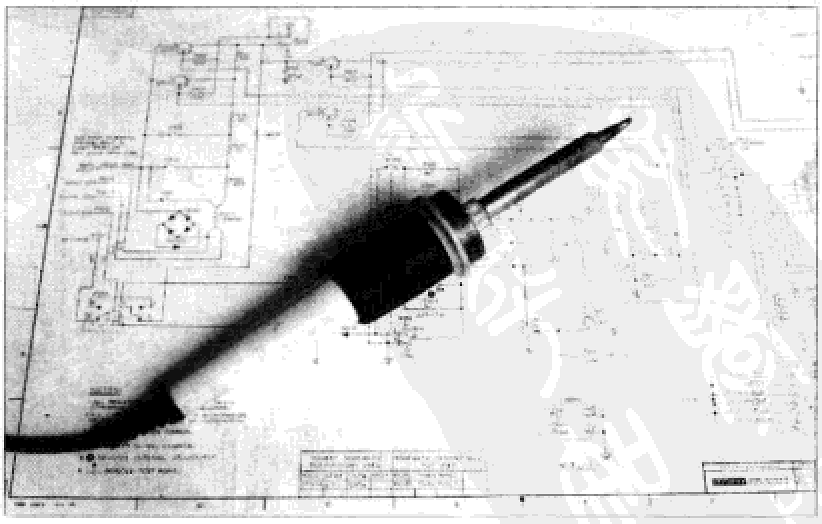
架构很重要。一些爱好者的3D工作台（桌面上带架子的桌子），普遍存在功能和性能的缺陷。我的工作台是由两组货架和一张旧写字台组成的，无需特别定制。这种货架很有来头，据说是德国人发明的。第一次见到这类货架是在一些老外的DIY类杂志上。当时看到老外们的工具和用于DIY的结构件、型材等，羡慕不已，如今这些物件已经可以很容易在国内见到了。

我用的是由C型钢和P型钢型材制作的蝴蝶孔轻型仓储货架，号称每层承重能力可以达到150kg。虽说是廉价的“山寨”货，但结构可是标准的，大江南北的“山寨”厂做出来的货架长相都一样。这种货架有多种规格，还有中型和重型、蝴蝶孔和菱形孔等之分，可以根据空间条件组合选用。我们没有权利不去享受工业革命的成果，强烈推荐！

标准规格150cm × 50cm × 200cm的仓储货架，跨内宽度为140cm，去掉底部的横梁、隔板后，正好可以放入



工作台的“在线区”



我的Weller WTCP

140cm×70cm标准尺寸的桌子。我是用了一张120cm×60cm的旧写字台，将台面扩容为140cm×70cm的，倒不是因为我有多节省，而是为了让家里的电动工具们能派上用场。货架的50cm进深和台面的70cm进深的配合、恰当的台面到横梁隔板的高度，以及台面上方的30cm进深的辅架和侧面17英寸的仪表架，相得益彰，堪称人机工程学理论的最佳实践。

这样布设的原理其实很简单，犹如平面的“黄金分割”。人机工程学理论里有很多“黄金尺寸”，20cm就是和人脑袋相关的黄金尺寸，70cm的台面和50cm的横梁相差20cm，坐在桌子前就不会有障碍感。据说，这是因为引发人头部障碍感的距离就是小于一个脑袋厚度的尺寸。

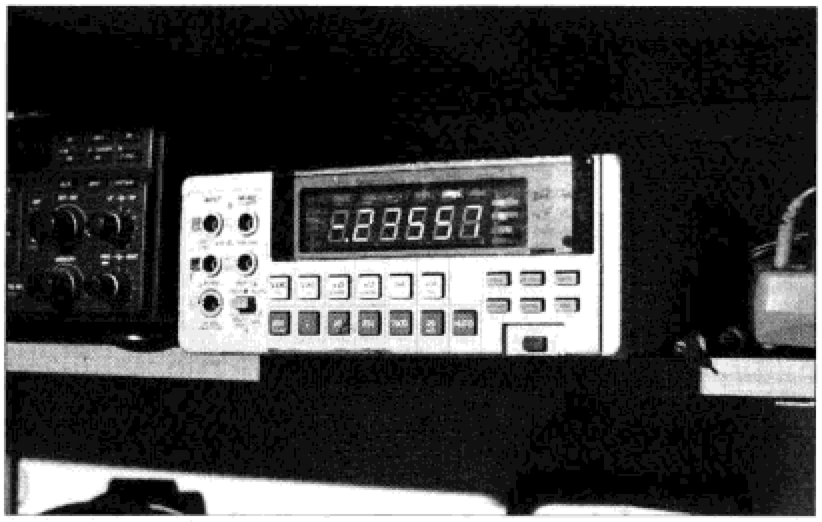
信息技术领域中有门学问叫作“数据存储”，将计算机处理的数据分成在线、近线和离线。在线数据为实时使用的数据，近线数据为经常使用的数据，离线数据为不经常使用的数据。其实，这是一个通用模型，可以用来描述其他物质、行为等，并用来进行结构优化。本人的工作台充分体现了这样一种模型结构的形态，而且每个人的工作台都应该符合这种形态，只不过是有没有意识到以及是否合理。

因此，我的整个工作台也分为3个区：在线区、近线区和离线区。

在线区，由台面、辅架以及放置在其上的最为常用的仪表工具等构成。对于爱好者来说什么最常用，因人而异，不可一概而论。即使是同一人，不同时期，不同工作内容，亦会有所差别。来看看我的常用装备吧。

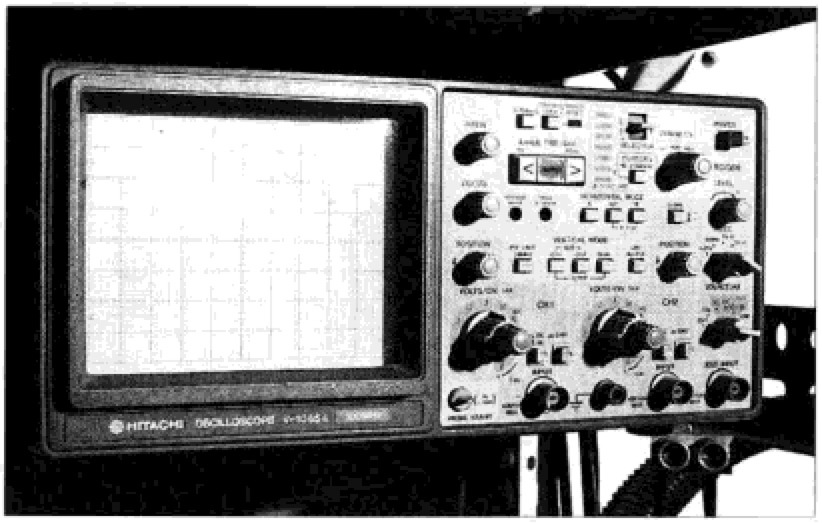
电烙铁应该是最最常用的，如果细分的话，俺还是个电烙铁爱好者。爱好归爱好，总不能整天桌面上摆着百八十把烙铁来把玩吧。我最近常用的是德国威乐的电烙铁，“身边的人都在用”，在北京DX俱乐部B1Z，几乎人手一台Weller WTCP焊台，真的很好用！

20多年前，朋友在德国汉诺威电脑展上穷尽多年积蓄，买回这台Weller WTCP送给我，令我激动不已。WTCP是利用烙铁头铁磁特性恒温的定温焊台，比调温焊台性能要好。WTCP的手柄型号为TC201T，很多人以为手柄中的过温保护继电器是恒温控制元件，其实不然，TC201T的烙铁头和发热芯之间的热耦合是靠磁耦合实现的，当烙铁头温度到达居里点后，磁耦合变化导致热耦合变化，从而实现恒温。同样采用焊嘴材料铁磁特性恒温的美国Metcal也是非常好用的焊台，不过它的恒温实现原理与Weller不同。



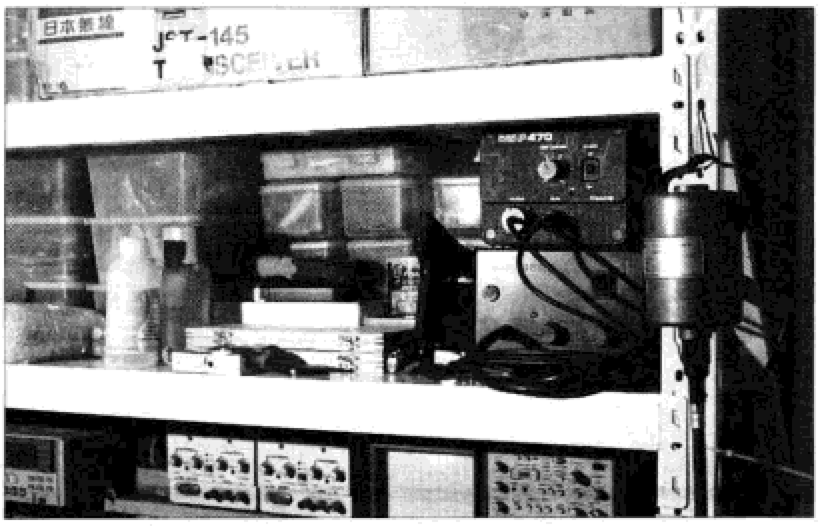
用数码管修好了破屏的8840

我的实验电源

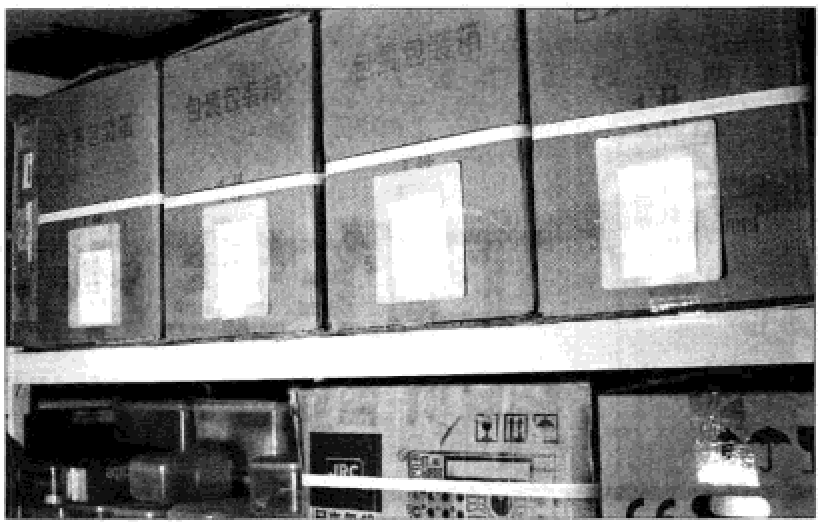


日立V-1065A示波器

短波电台



工作台的“近线区”


工作室里的“离线区”

Metcal是高频电磁加热焊台，当温度变化时，烙铁头铁磁特性的变化导致烙铁头和加热线圈构成的加热回路电磁特性的变化，而保持恒温。

除了烙铁就是万用表了。数字表要有，模拟表也不能少。我日常最常用的两块模拟表MF18和MF500，都是经典中的经典。除了历史的回忆，在现实中，它们也还是有其实际使用价值的。数字小台表还是喜欢福禄克的多些，8840、8842我手里就有不少台。爱好者其实都有点“贱”，放着好东西不用，非要用自己修好的破烂，老一辈的钟表爱好者、相机以及自行车爱好者表现得尤为突出。我工作室辅架上的数字台表是一块破屏的8840，改造后用数码管代替原来的显示屏，用起来很有成就感。

实验电源是用两台带有同步接口的单路电源同步连接的，以适应正负电源的需要。示波器也是常用的，日立V-1065A示波器是我20年前花了10000多元人民币买的。前两年看网上的二手仪表商那里卖几百元一台，心里很不平衡，一下买了好几台，以“摊薄成本”，结果是——被老婆骂。

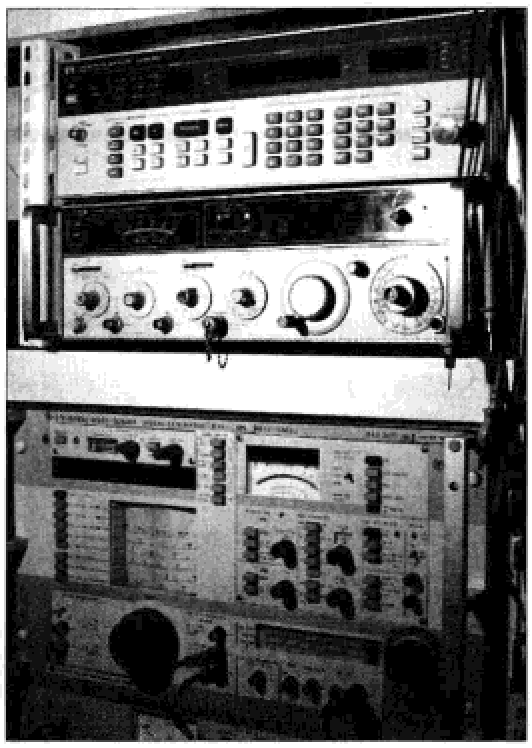
短波电台一定要有，平时我习惯打开电台，边干活边听。遇到有远征台或是熟悉的电台也会临时做应答。参加比赛的时候，我还会在桌面上增加一些专用的设备。其实不单是无线电通信，对于不同的兴趣内容，我都会根据需要，对在线区进行调整，部署一些必需的装备。

台面及辅架的上面就是近线区了，主要是由需要时方便拿取和使用的元器件、仪器仪表和工具组成。白光的850和470都是常用的拆焊工具，旁边立柱上挂着的是台电磨，也很有用。因为我有专用的钳工台，有些常用的机械加工工具就不用放在这里了。元器件都放在透明的塑料盒里以便于查找。

台面的左侧是仪表区，利用仓储货架的一部分改装成17英寸标准的抽取式机架，以便于根据实验内容对仪表的放置位置进行调整。

无线电设备的一些测量项目需要多台信号源，仪表区的3台信号源很有些代表性，罗德施瓦茨的SMDU（最下方）可谓大名鼎鼎，堪称模拟时代的精品。中间是HP8640B，兼顾了模拟设备的操作习惯和数字设备的性能。上面的是HP8656B，性能虽好，但在操控上我不太喜欢。3台信号源使用了HP58540A GPS频率基准，省却了频率校准的麻烦。信号源输出电平的一致性还不错，能满足一般使用的要求。我还有一台带精度的HP3335A，需要的时候，可以用来进行电平比对。

平时用不着，用时找不到，这种情形大家都不陌生。离线区里的东西就是那些平时用不到的，甚至是一辈子也不可能用到的东西。垃圾如何变成宝，分类是门


我的仪表区

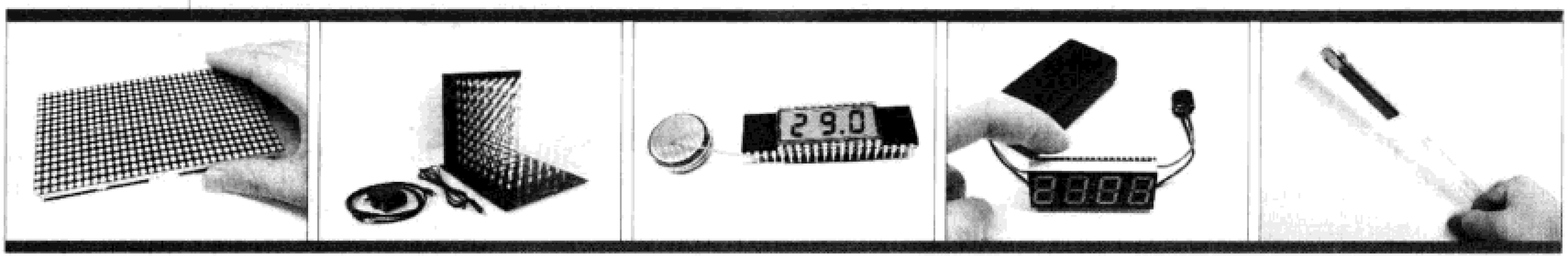
学问，“垃圾分类的水平标志着一个国家的文明程度”。虽说本人在家里很有点地位，但也要讲文明。工作台的顶层就是离线区了，那里放着好几个1号邮政标准箱，能装不少东西。我用打包机拦腰打上一圈打包带，以方便拿取。除了工作台，家里还有好多组货架，顶层和底层都是这种纸箱，很整齐。文档很重要，箱子里装的是啥，一定要注明，否则就更不容易找到了。

工作室是啥样子，说不清楚，工作室里有啥东西，也说不清楚，工作室做啥用，更说不清楚。还是俺老婆聪明，一言以蔽之，曰：“不就是堆垃圾、玩破烂的地方吗？”

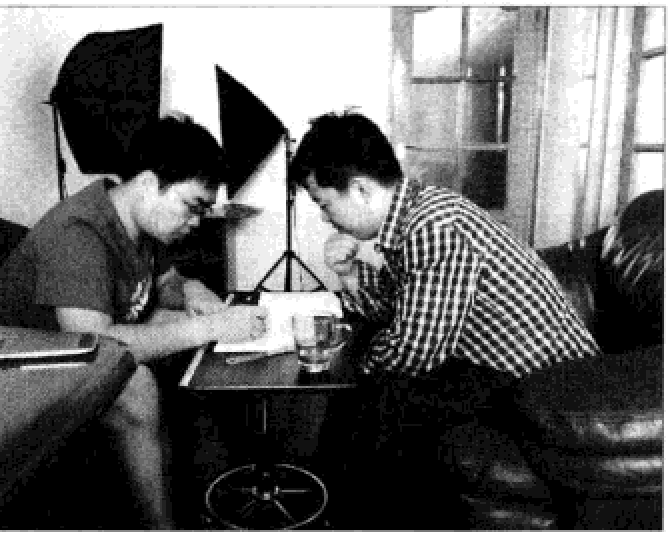
晒晒我的工作室/实验室

◎杜洋

工作室的制乐之道



我是比较擅长讲故事的，我总喜欢把枯燥、复杂的技术问题以一种喜闻乐见的故事形式写成文章，让读者更易懂、更有乐趣。可是当《无线电》杂志的编辑老师让我以工作室为题写一篇文章时，我却不知道如何说起了。因为在此之前，我从没想过把我的工作室以故事的形式写下来。我要写点什么呢？是介绍工作室里一个个充满传奇的成员，还是介绍我们所在的工作环境，或是介绍我们每天的工作和生活，亦或是介绍一下杜洋工作室是如何创新的呢？



两个"大头"的头脑风暴（左边是"大叔"，右边是我）

我约来"大叔"，坐在头脑风暴用的沙发上，一起讨论关于这篇介绍文章要如何撰写。我们都认为文章要有趣，不能是直白地介绍器物，要把工作室的理念写上，还要介绍工作室里的人员，这样"大叔"就可以上杂志了（"大叔"在旁边笑而不语）。我所说的"大叔"是杜洋工作室的主力开发工程师，本名叫时辉。之所以叫他"大叔"，是因为我们第一次见面时，他坐了几天的火车，头发杂乱，胡子大把，一脸疲惫的样子。本来29岁的帅小伙儿，咋一看好像40多岁的大叔一样，于是"大叔"的外号就叫开了。他本人也不反对，时间一长就连我爸妈也开始叫他大叔了。

说到大叔，他来到杜洋工作室还有一段传奇故事呢。就在半年前，在我的淘宝店里出现了一位非常热情的电子爱好者，凡是我发布的制作套件和教学视频，他每件必买，而且从不讲价。这种铁杆粉丝的行为引起了我的关注。后来就开始在网上聊天，知道他是在《无线电》杂志上看我的文章，被单片机的神奇迷住了，然后靠着我的书和教学视频自学入门的。大叔听说我要制作一款超薄、超简洁的电子钟——mini3216时，非要无偿地帮我开发。我本没想同意，只是抱着试试看的态度发给他一些制作需求。没想到他是认真的，白天上班时想方案，晚上回家就开始制作，一做就到半夜三四点钟。花了2个星期的时间，他真的做出mini3216的PCB。虽然我后来又改进了许多地方，他的热情和诚意却打动了我，让我同意以后再有产品会找他一起开发。可是过了不久，他觉得他的工作占去了大量的时间，耽误了他玩单片机的爱好，于是他下定决心要来到杜洋工作室。听到这个请求我很高兴，我也很想和一位有能力、有热情的爱好者共事。可是工作室的收入目前还不多，很难养活一位开发人员。可是他并不在乎这些，他说只要每天都能做自己喜欢做的事情，都能和我讨论技术和创意，就是很幸福的事情了，其他的"神马都是浮云。大叔的话让我又一次感动，一个月后他来到了杜洋工作室，把爱好变成了工作，享受着他所认为的最幸福的生活。除了大叔，杜洋工作室成员中还有一位美

时辉的工作台

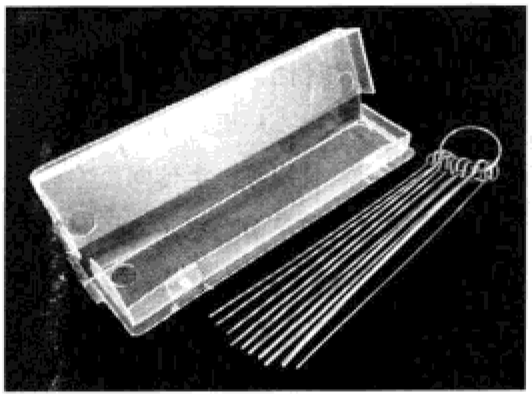
女——小雪，她主要负责管理工作室的元器件采购和后勤工作。我本想天花乱坠地介绍她的传奇故事，可是她很低调。我只能表示遗憾了，以后有机会我再偷偷地讲给大家听吧。

除了大叔和小雪，余下的就是我自己了。我叫杜洋，现在哈尔滨，杜洋工作室就在这里。“为什么要在哈尔滨呢？”很多朋友不只一次地问过这个问题。搞电子的不应该去深圳吗，那里是全球最大的电子零件及产品市场之一，有着得天独厚的政策和市场优势。或者也可以去北京，那里有着丰富的人脉关系，人多，机会也多，只要有能力就有发展。是的，这两个城市我都去过，并工作过一段时间。它们确实有着不可小看的优势，可我还是喜欢哈尔滨。老爸总教育我说，人呀，千万不要忘本，有能力了就回到家乡，为家乡做点贡献。于是呢，在我决定创业的时候，我也同时决定了回到家乡，即使少了市场和机会，却得到了内心的安慰。而且哈尔滨人热情、纯朴，生活节奏适当，有我熟悉的环境和真挚的朋友。我很庆幸自己做出了正确的选择，在这里，工作就是在家的感觉。杜洋工作室就是以我的名字命名的，有朋友会说了，是不是我太自恋了呢？呵呵，你当然可以把它理解成自恋的行为，其实把自己的名字当成事业的品牌是需要勇气的，因为事业的成败直接联系到我个人——我的人格、信用和杜洋工作室的信用和品质绑在了一起。这样也给我一个动力，督促我必须把事情做好。况且我也不是第一个这样做的人，想想戴尔电脑、派克钢笔、皮尔卡丹服饰、飞利浦电器，杜洋工作室就没什么好奇怪的了。这个名字让我更认真、负责地和大家一起分享创意电子，而且叫起来也很顺口嘛。

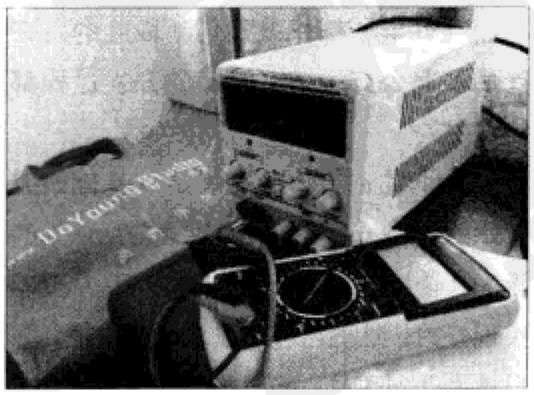
我这个人并没有什么可说的故事，只是个比较爱幻想的孩子。从小就喜欢拆东西，大学毕业后在深圳一家单片机公司工作了三年，之后决定回哈尔滨创建自己的工作室。之所以创业，是因为我发现电子制作这个圈子在国内还不成熟，一些有创意、高技术的DIY制作都是国外爱好者搞出来的。国内爱好者只是跟在后面，鲜有自主的创新和技术突破。正是看到这些现象和我对电子制作的强烈热爱，我才决定另辟蹊径，把工作室打造成富有创意、极具技术开拓能力的品牌。我把工作室的目标总结为——分享创意电子，与电子爱好者同行。在这一目标的引导之下，我开始设计全新概念的DIY制作。

首先设计出来的是无PCB也可以简单制作的mini48定时器和mini1608电子钟，并为它们拍摄漂亮的照片，不惜时间地制作全新风格的电路原理图，还有条理清晰、易懂的源程序。为了让大家深入学习制作的原理，我还录制了《面包板入门单片机》系列视频。我想用一套全新思路来玩电子制作，给电子爱好者一个与众不同的选择。

要知道创新并不是简单的事情，它需要丰富的想象力、久经考验的技术能力、敢于尝试的勇气。我算是幸运的，我的创新小制作都让大家感到喜悦，所以我有了继续创新的勇气。爱好者的每一次关注


透孔专用工具

大叔的焊接台和专业工具

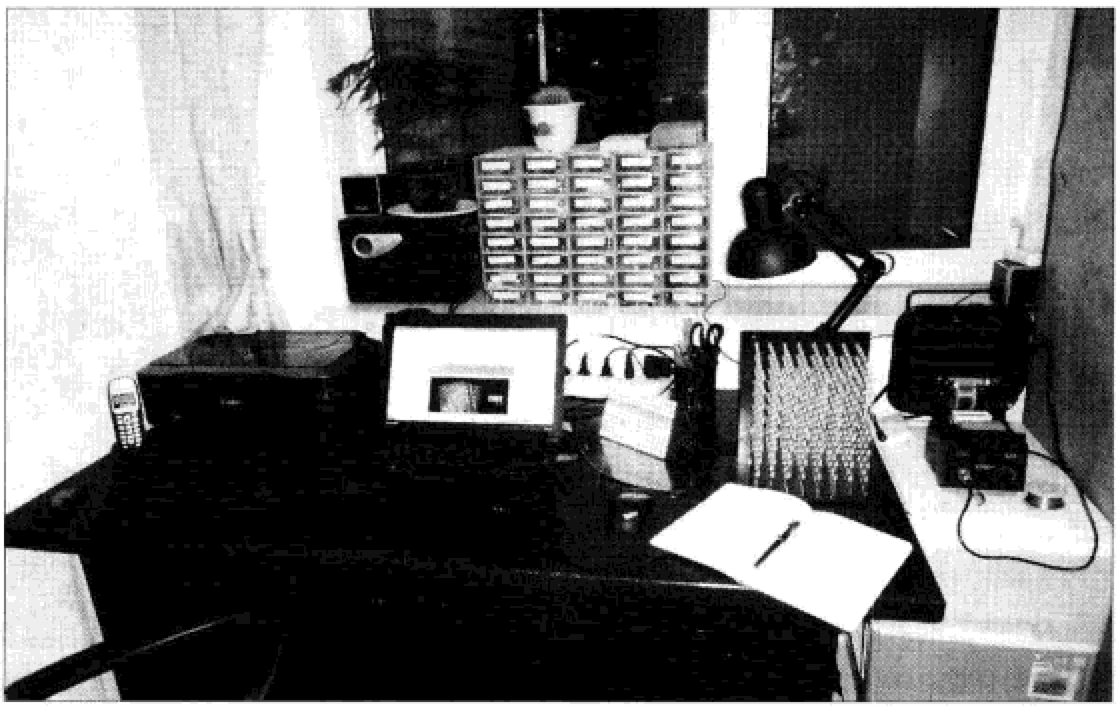

大叔的可调电源和万用表

和支持都是杜洋工作室不断发展、创新的动力。在此借杂志一方宝地，向曾经支持过我的朋友们表示感谢。正是因为你们，我才有精力和“经济”开发出精简设计的SHOOK16摇摇棒、CUBE8光立方、DIS.MUSIC3音乐显示器等创新作品，也能和大叔一起开发出颠覆传统的未来制作。

那么，有朋友会问了，你们是如何创新的呢？我说过，创新是困难的，但却是可以学习的。创新可以学习，可以用一系列方法来培养创新的能力。我正在撰写一本新书，叫《创新单片机》，其内容就是教大家如何创新的。但在本文中，我只能介绍一下杜洋工作室的工作环境和流程，希望从中你可以知道我们是如何创新的。

创新是我们的特色，如果没有创新制作，杜洋工作室就沦为了平庸，所以我们不仅要创新，还要能不断地创新。在杜洋工作室内部，创新来自于讨论，自我的或团队成员之间的头脑风暴。头脑风暴其实就是团队成员不断就创新的概念和技术细节展开的讨论，密集的灵感和方案不断出现、确定、推翻，好像是一场发生在大脑里的狂风暴雨。杜洋工作室专门为头脑风暴准备了一个地方，那就是在大叔办公室里的“头脑风暴大沙发”。两个面对面的沙发，中间摆着记事本和饮料。边享受下午茶，边在脑子里构建未来的产品和项目方案，实在是重要又惬意的事情。照片中的我和大叔正在进行头脑风暴，讨论着下一个旗舰产品M7智能模块的方案。我可以详细为你介绍M7智能模块有什么创新的奥秘，但那是以后的事情。是的，工作室的电子制作是靠创新取胜的，在产品没有公开之前，我们的开发过程都是保密的。

我们的创新作品开发是从基础研究开始的，这一点可能和大家之前所认为的不同。传统思想认为，创新应该是从灵感突现开始，然后再去用技术手段实现，一旦技术遇到困难，就要攻关解决它。我当然相信在世界的某个角落确实有这样的创新人才，可是这种方式的创新是偶然的、不可持续的，也就不能以创新为业了。杜洋工作室的创新是在基础技术研究上的突破，一旦得到成果，再来考虑这项新技术可以应用在什么地方。



我的办公桌

大家可能还记得mini48定时器，我在《无线电》杂志上曾经介绍过它的神奇。大家可能对mini48的单片机I/O接口触摸调时功能印象深刻，这一电平式触摸技术是我在尝试单片机I/O接口的各种工作方式时发现的实验现象。然后，再针对单片机I/O接口进行电平特性的基础研究后，才得到稳定的触摸操作结果。当我把这一基础技术写在开发笔记上之后，我们就开始头脑风暴了，考虑要用这一触摸技术来制作什么作品。正好当时我用另一个基础研究成果制作出了不需要PCB也能组装的mini1608时钟，于是就把这两项技术整合在一起，开发出了mini48定时器，同时我也用触摸技术制作出了MIDI.TOUCH21电子琴。

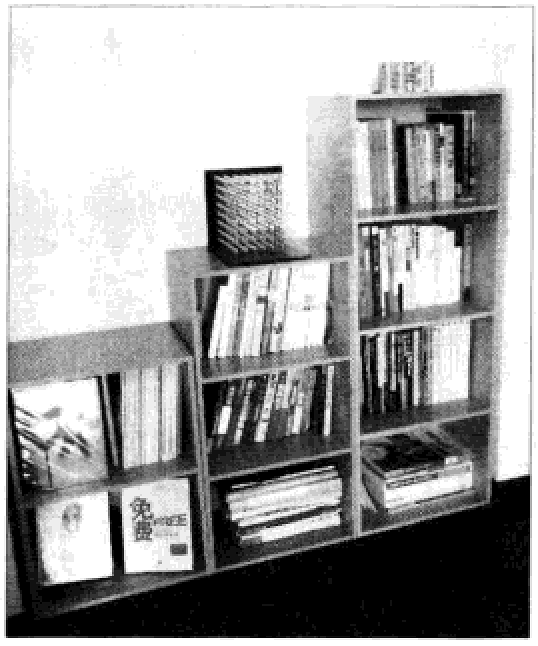
创新除了是对基础技术的研究，也是对传统结构的重组，还是对新器件、新工具的应用。我之所以可以设计出不需要PCB的mini1608时钟，是因为点阵屏的尺寸和单片机尺寸正好吻合。我之所以制作出SHOOK16摇摇棒，是因为贴片LED和钮扣电池的巧妙运用。这些都可以证明，创新是来源于技术，而非来自于灵感（至少我认为的理性创新是这样的）。

创新设计完成后，接下来还不是直接进入开发，那样会盲目且混乱。下一步是在头脑风暴的会议上确定产品的细节。到这一层面上，每个设计者的关注点就不同了。不同的设计者用同一项新技术会开发出完全不同的东西出来。我本人比较关注的是使用者的体验和产品设计风格。如果设计让电子爱好者也可以仿制的套件，我会再考虑套件元器件是否较少（尽量越少越好），其次考虑制作过程是否简单、易操作。如果从技术上不能解决简洁和美观的问题，我也可能会放弃这个制作。要知道，创新只是长征的头几步，之后还需要精心的设计、细节的完善、成本的考虑、开发难度的评估，更要考虑元器件的选择、品质的掌握。一旦产品出来了，还要为它拍照片、录视频、上传网页、写文章、写说明书、做备份、包装，还有技术支持。只有每一个环节都做到最好，才能对得起当初的基础研究和创新设计。总之，在电子制作中，创新是一件费人力、费精力、费财力、费时间而且还有

风险的事情，但是杜洋工作室很高兴做这些事，给大家带来趣味的同时，自己也乐在其中。

大叔的办公室并不小，除了“头脑风暴大沙发”之外，还有他最得意的办公桌。他的办公设备是目前工作室里最齐全、最高级的了。不仅有双屏幕的电脑，还有彩色打印机、数字可调电源、数显电焊台、万用表、刻录机等。还有一些一般爱好者不常用的专业级工具，比如瑞士进口的镊子、日本生产的钳子、整套的专业焊接辅助工具，甚至还有专门用于拓开被塞住锡孔的铜签。在大叔办公室一侧的墙角是工作室的摄影台，那里由一张角桌、一支三角架和两个柔光灯箱组成，杜洋工作室网站上那些漂亮的产品照片就是在此拍摄出来的。把柔光箱旋转180°，再把摄像机对准大叔的办公桌方向，我们就能以大叔的桌子为场景录制《DYS咖啡秀》了，非常方便。大叔这小子算是版本“控”、高端“控”了，工具可以没有，但有的一定要是高端的。这种习惯耗费了不少钱呀！不过为开发人员提供良好的开发环境也是工作室应尽的责任。细心的朋友可能会发现，大叔的设备齐全，却没有介绍他的元件盒子。没错，大叔的桌子里确实有一些元件盒，但他几乎不用。因为大叔办公室的隔壁就是小雪办公室了，那里有好几排大大小小的货架，上面的各种元器件任他取用。如果他还不能精确、高效地完成开发任务，你说他对得起这么优秀的工作环境吗？是不是呀，大叔？（大叔在旁边笑而不语。）

最后要介绍的就是我的办公室了，我的办公室不大，也没有什么高级的设备，除了电脑和打印机，其他都是不起眼的小东西。其实我和大叔的习惯相反，我是简约“控”，相对保守一些。我希望把所有的东西简化，不要复杂的设备，不要太多东西，就用基本的东西来创新和制作。因为一般的电子制作初学者家里也不会有太多东西，而我的环境和他们的差不多，如果我设计出创新的制作，我可以保证他们也可以制作出来。只有这样才能发挥“分享创新电子”的最大价值。经常看到某些高手家里有着上万元的各种设备，从照片上看非常专业。可是他们却不一定能做出什么优秀的作品来。我想给那些条件不好、设备不多的爱好者一句忠告：“虽然专业的设备看起来很‘拉风’，可它和创新制作并没有多大关系，至少在我这里是这样的”。在其他公司，我们经常会看到他们用一个大大的展架把自己的产品秀出来，但在杜洋工作室却看不到这些。不是我们买不起展架，而是我们对于产品的态度不同。我们是创新的，是要不断超越自己的。所以过去的成绩是我们的竞争对手，过去的产品是我们需要改进和颠覆的。不是要保护它们，而是要尽快地摧毁它们。



我最爱的书架

介绍了一大圈，最后要介绍的是我最喜欢的书架了。我这个人爱好广泛，除了电子制作、摄影、电影、写作之外，我还很喜欢看书，而且必须是纸质的书本。我认为在网上看书或是用电子设备看书简直就是糟蹋了读书这件事。端着纸质的书，坐在长亭外、古道边，偶尔抬头望一下芳草碧连天的美景，这才是读书爱好者的惬意呀。我的书架上摆满了我爱看的书，有哲学的、心理学的、历史的、商业类的、管理类的、文学评论、军事的（主要是我爸爱看），当然还有电子技术类的。其中有一本书很独特，那就是我自己写的《爱上单片机》，哈哈，你的书架有自己写的书吗？如果没有，那就承认它很独特吧。独独的书架看上去很单调，于是我把自己设计的mini3216时钟和CUBE8光立方放在了书架上，让书架多了一份科技气息。你的书架上有自己制作的作品吗？如果没有，那就是你的不对了。书不是每个人都可以写，但作为一名极具热情的电子爱好者，书架上怎么能没有制作的电子作品呢？

这就是杜洋工作室，工作室里有着传奇的人物、温馨的环境、精致的器具、挚爱的工作，一桌一椅一电阻一LED都有一段小巧的回忆。是工作室体现了我的价值，给了我生命中80%以上的快乐。我由衷地感叹，把爱好当成毕生的事业来做，真的是很幸福的事情呀！希望大家也都可以找到电子制作带给我们的快乐。

至善——精致、简洁、创新的奇趣制作
乐知——轻松、愉快、易懂的科普教学

就在前不久，我把我的座右铭“至善乐知”当作了工作室的宣传语。对于我个人而言，至善乐知是对我做人的要求：至善是要把事情尽量做到最好，乐知是让我因求知而感到快乐。对于杜洋工作室而言，至善乐知是对我事业的要求、对电子爱好者的奉献。

这就是杜洋工作室的制乐之道。

RIGOL DS6104
数字示波器特性综览

◎《无线电》实验室

1GHz带宽、5GSa/s实时采样率、每秒18万帧波形捕获率、标配140Mpts存储深度……这样的性能指标，通常我们是在安捷伦、泰克、力科等国际品牌示波器上见到的，而放在编辑部实验室的RIGOL DS6104正是这样的一台拥有上述性能指标的国产高端示波器，没错，普源（RIGOL）的，一台刚刚荣获美国R&D Magazine评选的“R&D 100 Award”年度产品大奖的示波器。

RIGOL DS6000系列数字示波器是普源精电公司推出的国内第一款带宽高达1GHz的产品。它全部由RIGOL自主研发和生产，这不仅标志着RIGOL在数字示波器关键技术上取得重大突破，也使RIGOL成为进军中高端数字示波器市场、打破国外公司垄断、参与中高端竞争的唯一一家中国公司。

DS6000系列数字示波器拥有4大特点：

第一，性能指标领先。带宽高达1GHz，而且实时采样率高达5GSa/s，存储深度深达140M采样点（同档中最深，而且是标配），波形捕获率更是高达每秒18万次，也是同档产品中最高的，可录制多达18万帧的波形。

第二，技术创新。RIGOL 创新的UltraVision技术可实现深存储、高波形捕获率、实时波形录制及回放功能，通过多种硬件滤波器实时观察波形的变化，具有多级灰度显示功能等。

第三，提供了丰富的触发和带统计的参数自动测量功能。它还提供了I²C、SPI、RS232、CAN等串行总线的触发和解码功能，先进的波形运算功能以及丰富的附件等。

第四，外观设计新颖。它采用了10.1英寸宽大的显示屏，在同档产品中拥有最薄的体型，既大大减少了桌面占用面积，也方便携带，还配有电池选项，是真正的便携式数字示波器。

RIGOL DS6000系列数字示波器采用了许多先进技术和工艺，整体性能达到了国际先进水平，能够满足广泛的数字示波器市场的需求，包括通信、半导体、计算机、航空航天国防、仪器仪表、工业电子、消费电子、汽车电子、现场维修、研发/教育等众多领域，可帮助用户更快地完成工作任务。

本刊实验室邀请了几位相关应用领域的技术人员对示波器进行了试用。本期中，让我们揭开这款国产高端示波器的面纱，看看它有哪些值得一试的功能。

独创UltraVision技术

波形显示可以自动设置

模拟通道波形亮度可调

精细的延迟扫描功能

自动识别探头类型

实时波形录制和回放功能

丰富的触发功能

自动识别探头类型

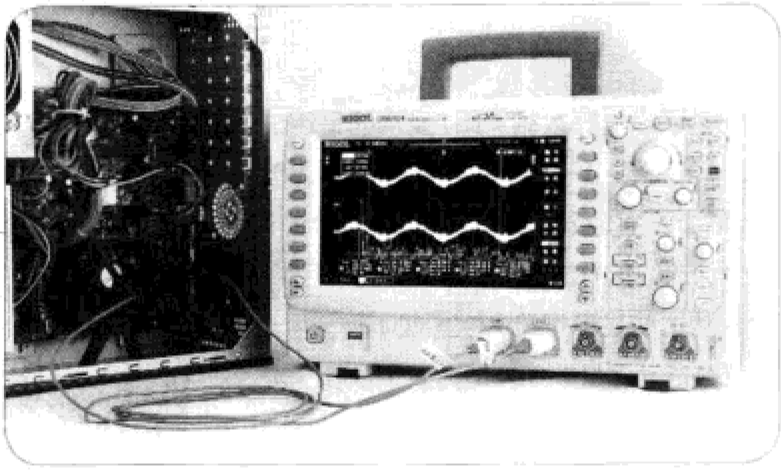
多重波形数学运算功能

内嵌FFT功能

通过/失败检测功能

RIGOL DS6104

数字示波器试用手记



◎徐江伟

从上学进实验室到从事现在的电子工程师工作有十几年了，一直在用示波器。从最初的模拟示波器，到后来的50M数字示波器、100M数字示波器，再到后来安捷伦的一款两通道1G数字示波器，每一款对我来说都有大用途，但这些示波器大多为国外品牌，这次能试用普源的一款国产高端数字示波器，非常高兴。试用的这款示波器为北京普源精电科技有限公司出品的DS6104。

图1

外观

DS6104的外观简洁明快，见图1，拥有10.1英寸WVGA（800×480）、16000Q色TFT LCD超宽显示屏，色彩鲜亮，功耗低，寿命长，支持标准和余辉显示模式，整体上美观大方。值得一提的是，14格超宽的屏幕可以让我们观察到更"长"时间的波形。

尽管DS6104为四通道的高端示波器，但是整机具有紧凑的体积和较轻的重量。整个机器深度只有123mm，比手中的Tektronix的TDS2012B（100MHz，1GS/S，2通道）以及普源的DS1102C还要薄，大大减少了桌面空间的占用，并且可以选用锂电池供电，提供2小时以上的电量，方便携带，非常有利于现场调试和应用。如图2所示。

DS6104的操作面板整洁方便，按钮布置错落有致。主面板按钮布局图如图3所示。

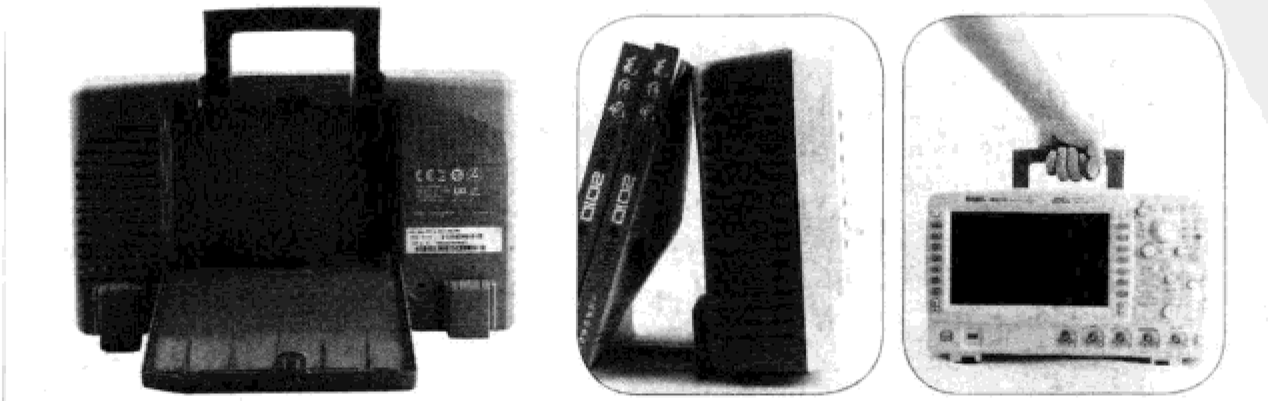
DS6104启动时间只有14.99s，这个时间比Tektronix的TDS2012B（100MHz，1GS/S，2通道）的29.76s要快一倍。看来FPGA+DSP组成的嵌入式系统在启动方面还是有很大优势的。

DS6104提供了4个测量通道和一个外部触发通道，4个通道的水平挡位和垂直挡位都可以通过通道选择按钮来控制，按某一个通道的按钮后，则当前可调整的通道会显示在屏幕上。

测量功能测试

我用DS6104来测量一块CPLD开发板上的有源晶振，如图4所示。

图5显示了测试出的该晶振的周期、频率、上升时间、下降时间、正脉宽等参数。图6显示的是测量出的负脉宽、正占空比、负占空比、延迟1－1上升沿、延



后面板上的锂电池模块的安装位置 厚度比较 便携提手

图2

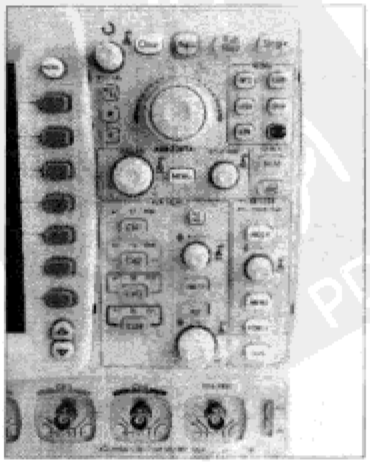


图3 操作面板按键

迟1－1下降沿等数据。图7显示的是测试的2－2上升、2－2下降的信号数据，因为2信道没有输入，所以示波器只显示了一个信道的信号。

从这些显示可见，DS6104具有强大的参数自动测量功能，能为我们快捷、准确地分析测量数据提供很大的帮助。

远程控制功能测试

现在的数字示波器可以准确捕获各种周期信号、非周期信号，数字示波器已成为科研实验和工程项目中各类信号采集、记录和分析最主要的设备之一。由于很多情况下，需要把数字示波器采集到的数据进行数据处理和分析，最终完成远程的自动测试和分析，因此，对示波器进行远程自动控制，实现对示波器各项功能的自动操作和对数据的处理已成为很多科研实验和工程项目必需的环节。DS6104提供了通过USB、LAN和GPIB（配合RIGOL的USB-GPIB转接模块）等仪器总线与PC进行通信。

笔者试用了利用RIGOL的上位机软件Ultra Sigma，通过USB接口和LAN接口，对示波器进行远程控制的功能。Ultra Sigma软件在示波器随机自带的光盘中就有，按要求安装即可。第一次使用Ultra Sigma的时候还有段小插曲。以前一直使用泰克的示波器和其上位机软件，形成了习惯。打开Ultra Sigma界面时，感觉非常简单，如图8所示，但是一直找不到图像显示窗口。后来，经RIGOL工程师的轻轻点拨，才顺利使用。用USB线把示波器和PC连接好以后，界面会检测到该型号，右键点击，选择【Print Screen】即可，如图9所示。

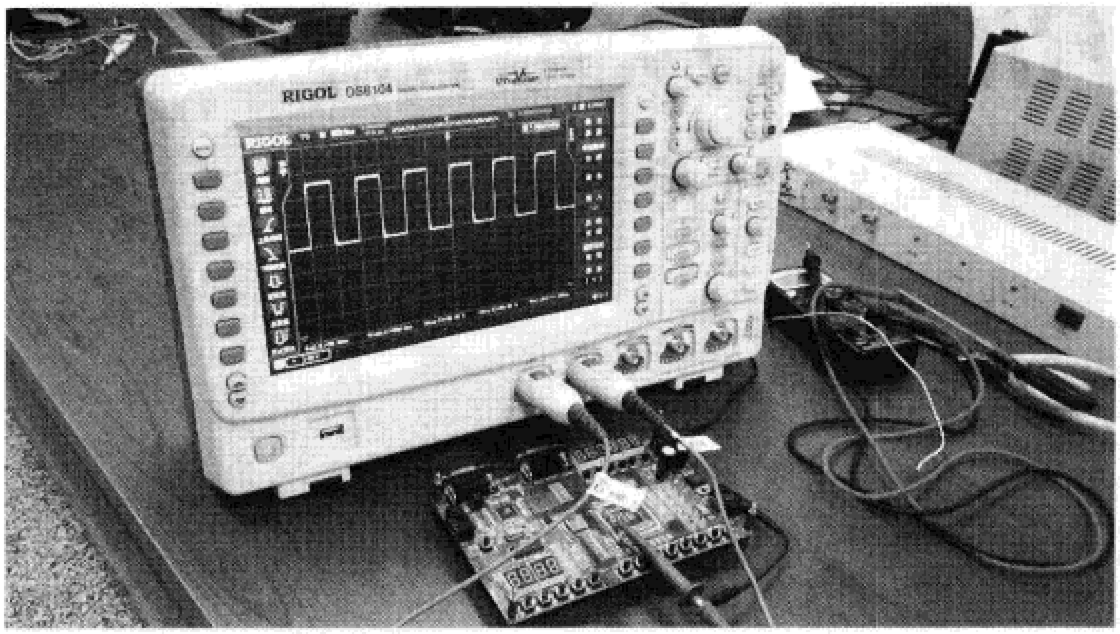


图4 用DS6104测量CPLD开发板上的有源晶振

另外，笔者试用了通过LAN对DS6104进行远程控制的功能。试用网线将示波器连接到局域网以后，按用户手册中“系统功能设置->远程接口配置->LAN设置”中的说明配置示波器的网络参数。示波器默认的配置方式为自动配置IP，因为笔者的网络环境要求必须用固定IP，所以要设置成满足网络要求的参数，如

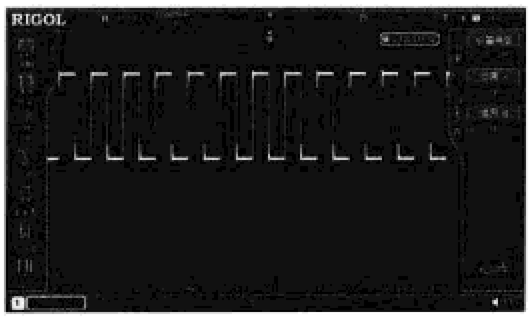


图5

图6

图7

图8 Ultra Sigma界面

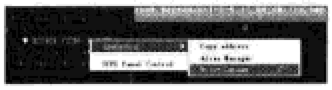


图9

图10 设置IP参数、通过LAN对DS6104进行远程控制

图11 可以显示在局域网中的DS6104

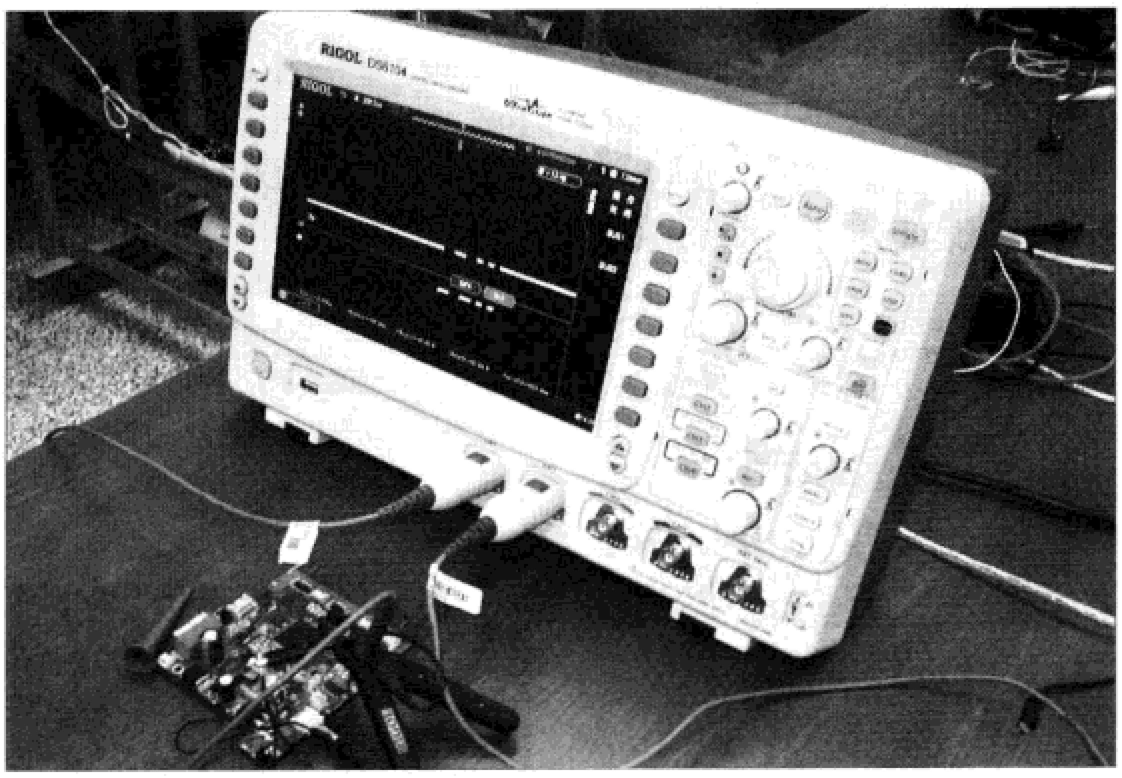


图12 RS232协议解码测试平台

图13 探头包装与配件

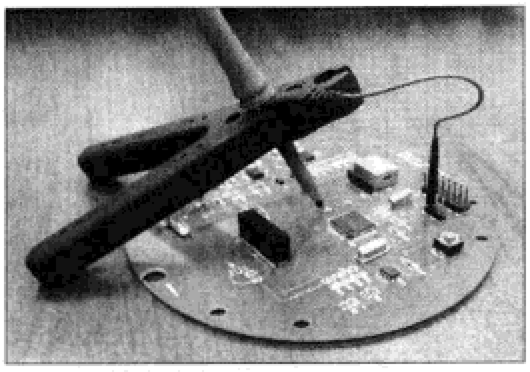


图14 实用的探头支架

图10所示。然后在局域网中的任何一台PC上，点击Ultra Sigma软件的【LAN】按钮，即可搜索到DS6104，如图11所示。和USB控制一样，这种方式也可以在PC机上捕捉示波器的显示界面。

Ultra Sigma软件还提供了远程命令控制面板，可通过该面板发送指令和读取数据。

RS232协议解码测试

在嵌入式系统的开发过程中，串行总线的协议分析一直是一件我和同行们头疼的事情。记得在两年前调试一个售货机专用总线，它的数据位为9位，在开发初期，边写代码，边测试，边在示波器上数着脉冲数，而且普通的示波器只能进行一般的边沿触发，很难准确地捕捉到复杂的串行总线波形，相当费精力。DS6104示波器提供了常用的并行、RS232、SPI和I^2C的协议解码，非常实用。笔者用一块工程板简单地搭了一个RS232协议解码测试平台，该测试板间隔地发送数据，可以看到，示波器能轻松地识别出来，如图12所示。

工具包及探头补偿测试

DS6104支持普通无源探头和有源差分探头，并可以自动识别当前接入的探头类型和探头比。配备的探头包和里面的各种工具如图13所示。

这些工具对于工程师来说非常有用。比如探头支架，很多电路板上留有测试孔，如果测量时，要么用手拿着探针顶着孔测量，要么就要“飞”一根测试线缆，非常不便。有了探头支架，只要轻轻地支起来即可，如图14所示。

DS6104的探头具有补偿功能。这里以其低频补偿为例介绍一下。探头在首次与示波器相连使用时，需要进行低频补偿，当然也可以随时进行调整。步骤如下：

（1）将探头连接到示波器前面板的探头调节信号端。

（2）按下示波器前面板的【Auto】键。

（3）此时发现示波器上的波形有变形，如图 15 及图 16 所示。

（4）使用工具包中提供的调节棒的金属片或“十字”，通过探头上的低频补偿孔进行调整，以获得最平的波形，如图

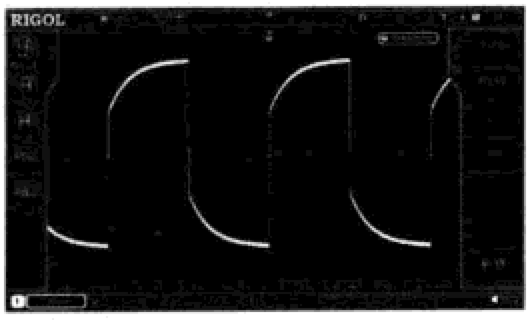


图15

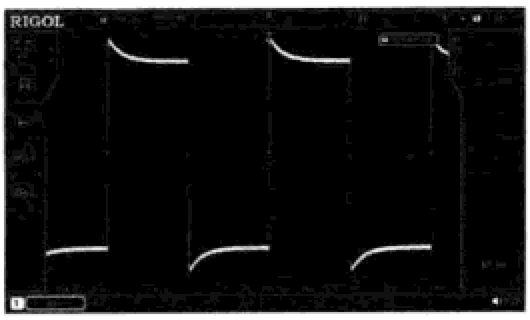


图16

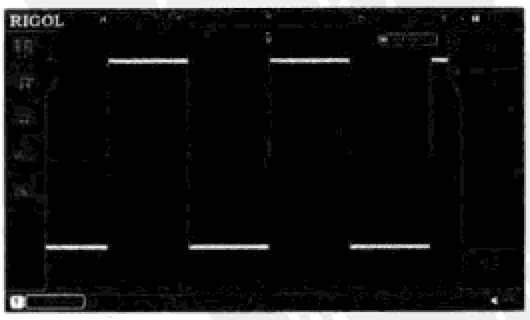


图17

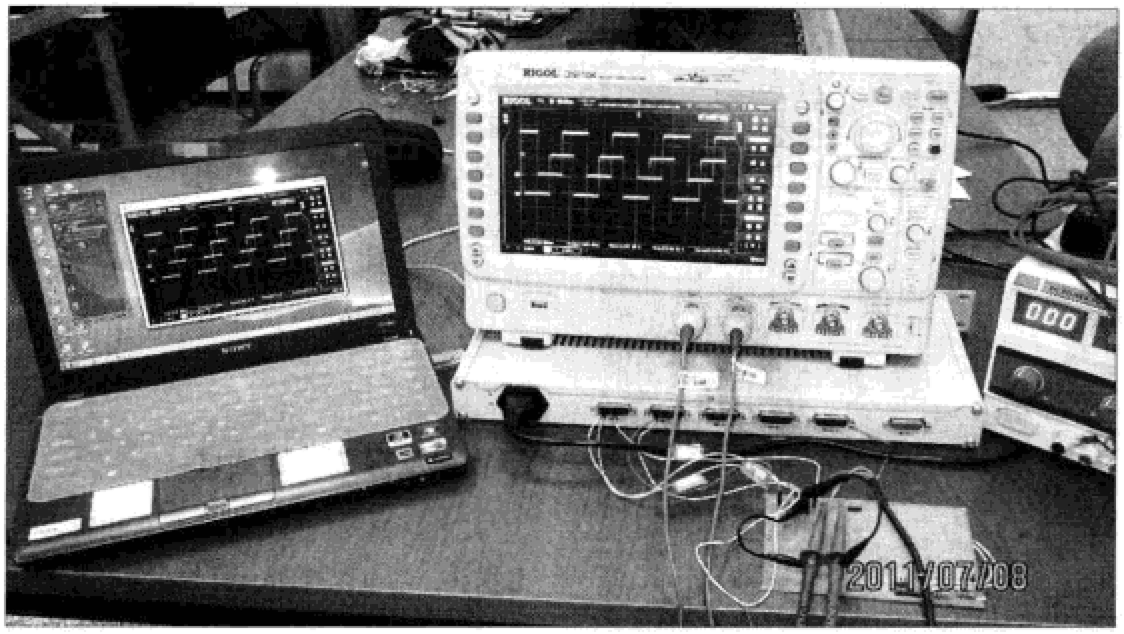


图18 用DS6104测试4路信号同步器

17 所示。

笔者用DS6104测试一款正在进行的项目研发中使用的4路信号同步器，测试场景如图18所示。该项目模块为一个连接输送机的编码器的输出部分，因为属于调试过程，需要不断地调整参数。DS6104探头的多功能、实时测量功能、PC的捕捉功能可以都给这个项目研发带来方便。但是遗憾的是，我的设备部分输出信号为LVDS，DS6104只有配备了高阻探头才可以测量，暂时没有办法试用。

FFT运算能力测试

DS6104可实现通道间波形的多种数学运算，包括加法（A+B）、减法（A-B）、乘法（A×B）、除法（A÷B）、FFT、逻辑运算及高级运算。前段时间我一直在做纸币鉴伪设备的设计工作，在分析各种纸币波形的幅度、极值点、最大值、最小值的时候，希望用快速傅立叶变换来尝试，正好DS6104有FFT计算能力，可将时域信号转换为频域信号，见图19。100元纸币和20元纸币通过研发的识别设备输出到DS6104后的FFT运算结果如图20、21所示。不用我先把FFT代码写完，就可以在示波器上验证该方法是否可以行得通，可大大提高工作效率。

总结

以上是笔者挑选了几个感兴趣的或者在近期研发中用到的模块进行的简单试用体验。整体感觉，DS6104示波器功能很强大，设计人性化，是国产示波器中的佼佼者。当然，在试用的过程中，我也发现了一些不足，比如：该示波器的上位机操作界面可以再简单方便一些，便于操作者快速掌握；另外，整机界面的刷新率感觉稍低，调整过程中有延迟。

示波器是工程师们设计、制造或修理电子设备不可或缺的工具。在现今这个快节奏的世界里，工程师们需要利用目前最好的工具来快速准确地解决他们所遇到的测量难题。在工程师看来，示波器是成功应对测量难题的关键所在。现代数字示波器拥有可帮助节省时间、提高测量精度的诸多特性，可简化高速数字电路设计带来的挑战。相信国产示波器能继续突破高端技术难关，用自主知识产权，打造出世界一流的仪表品牌。

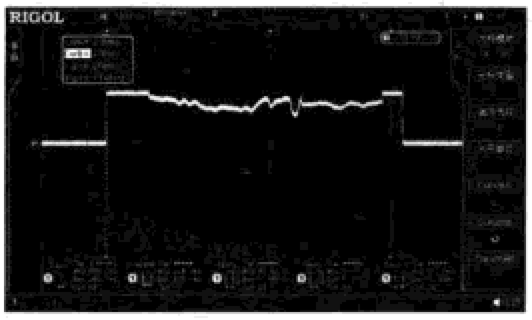


图20 100元纸币的识别波形

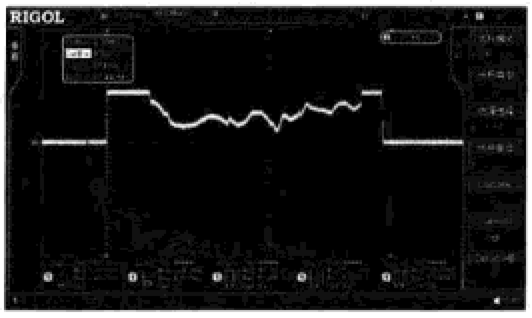


图21 20元纸币的识别波形

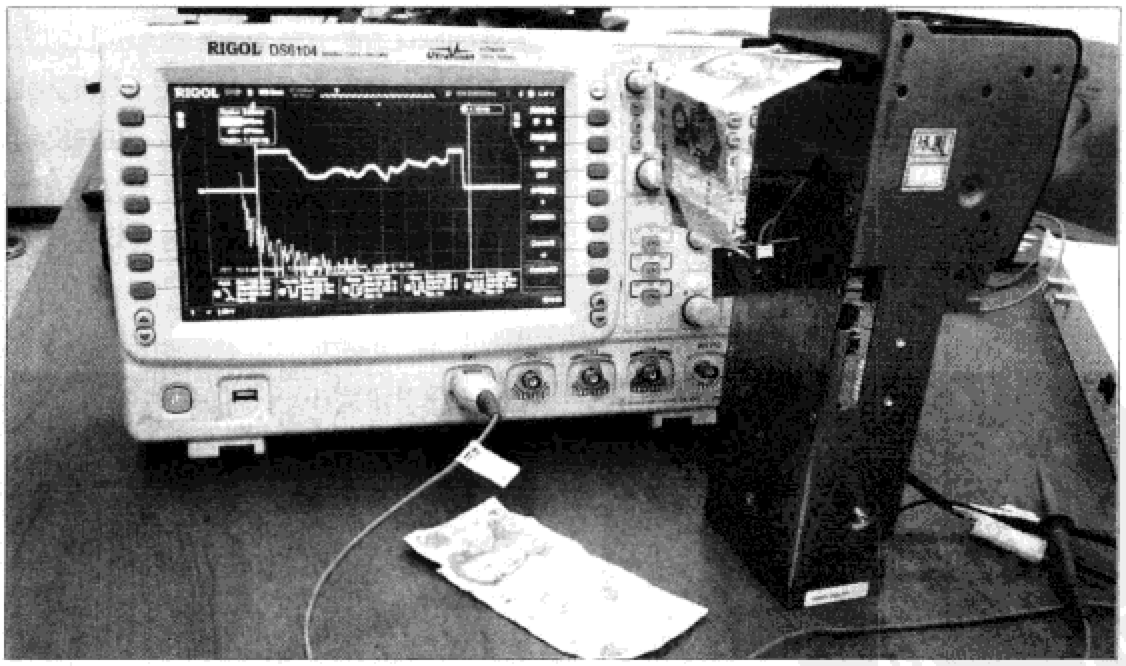
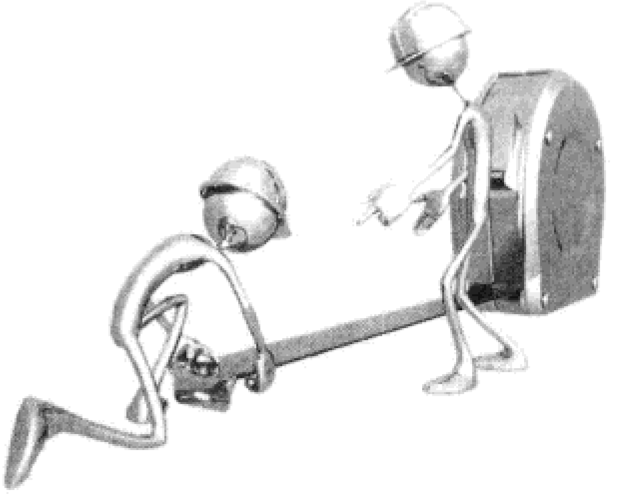


图19 测试场景

DS6104数字示波器试用点评



显示效果清晰、接口丰富、便携性好

测试对象 低功耗的组合导航系统

北京航天13所　李旭之

看到这款示波器时，精美的外观，领先的性能指标，较大的屏幕，让人一见就心生好感。得知它全部由RIGOL自主研发和生产，打破了之前国外品牌高带宽示波器的市场垄断，这让我们感到“中国创造”的实力已经越来越强大了。

我们目前进行的工作是研制低功耗、小体积的组合导航系统。该系统对供电电压要求较高，需要纹波系数较小，同时对工作频率也有一定要求。另外，该系统使用到了SPI接口，需要用来测量的示波器不仅要能测量信号电平、频率等常规项目，还能提供相应的触发、解码和深入分析功能，以便调试系统的SPI总线。针对这些应用，我们试用了DS6104示波器。

这款示波器测量信号时的视觉效果很好，图像清晰细致。对于电压测量，我们可以清晰地看到电压的波动范围及纹波大小，判断出电压是否符合要求；对于我们常用的频率测量而言，它的功能很强大，可以选择触发方式、可以用其内置的计算功能，在屏幕上显示出周期、频率等的均值、最大值以及最小值、占空比等大量的参数，非常实用。这能帮助我们快速对测量结果进行简单分析，为工程技术工作提供快速、实时的帮助。

它还有丰富的接口，让习惯于不同接口的人都可以适应。这一点比较好，不用再花更多时间用来学习新的接口使用方法了，工作效率也就更高些。同时，它配有锂电池选件，对于户外使用就会很方便。由于我们需要调试GPS的信号，经常会在户外工作，因此这样的设计对我们来说更有实用意义。

可能是不太熟悉的原因，感觉操作起来没有我们日常使用的泰克、安捷伦示波器那么简易、方便。另外，美中不足的是，我们使用这款示波器时，感觉噪声有点大，有点影响测量的感觉。

总的说来，这是一款很值得使用的国产示波器！

丰富的自动测量功能、先进的波形运算功能

测试对象 卫星通信接收机

北京邮电大学某卫星通信实验室　王媛媛

我们实验室需要对研制的接收机的相关性能进行测试，目前主要是对接收机的内置时钟性能进行检测，来验证是否达到设计的效果。经过对DS6104数字示波器的使用，总体感觉，无论从外观到性能，都有很多领先之处，主要体现在以下几个方面：

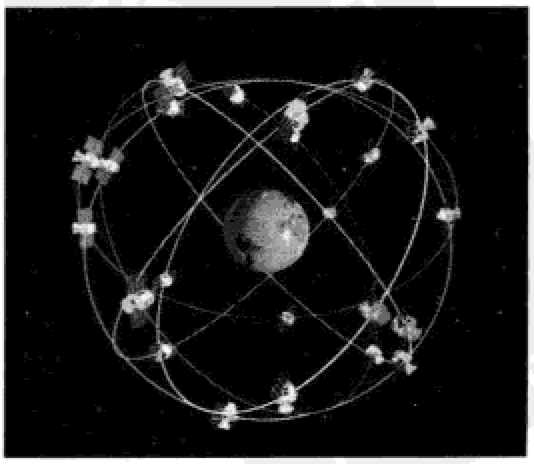
我们试用DS6104检测了接收机的内置时钟信号：晶振产生的时钟信号和PLL芯片使用的时钟信号。DS6104测量这两个时钟信号的显示。

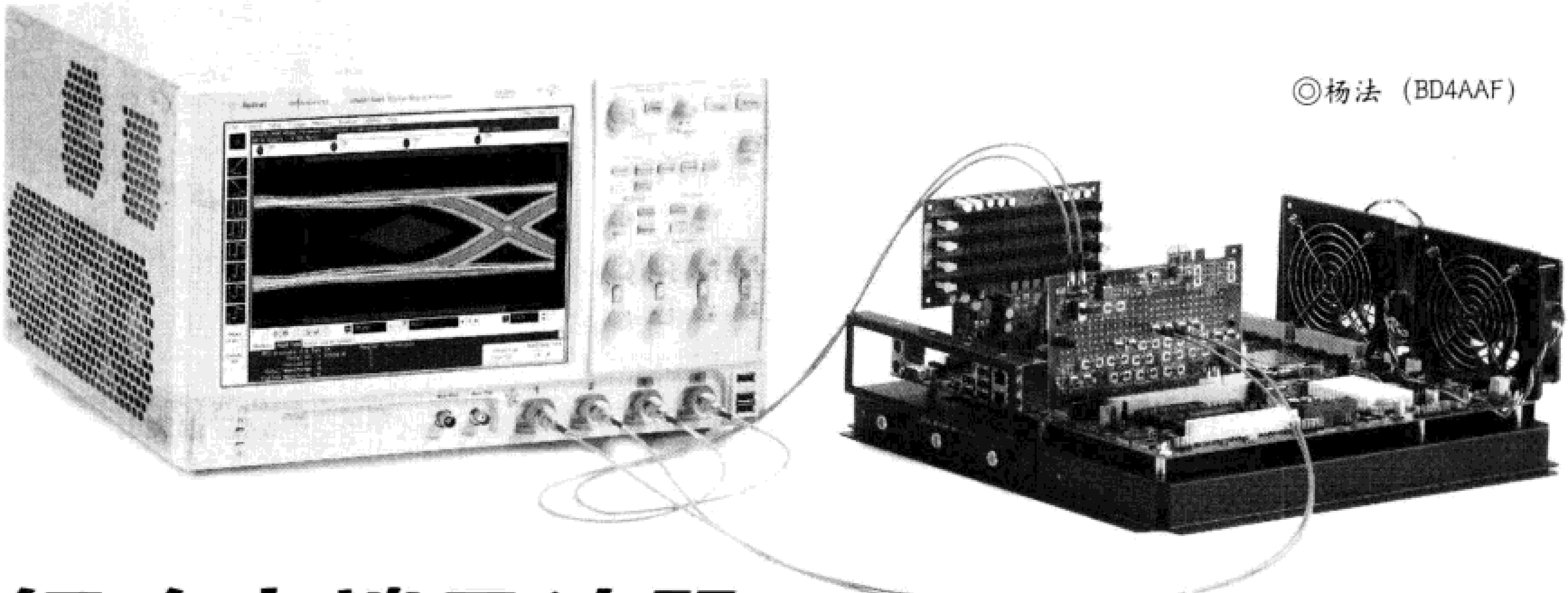
DS6104测量显示效果清晰细致。DS6104具有丰富的自动测量功能，对于时钟信号的测量而言非常实用。

对于实验室接收机的其他设计指标要求，比如电压参数设计、AD转换信号测量、中断信号测量等信号的检测都需要所使用的示波器灵敏度高、实用性能强，而DS6104数字示波器都能符合这些信号检测的需求。

同时，它还具有先进的波形运算功能，在对我们研发的接收机进行信号捕获或跟踪信号时，对信号进行相应的算法实现有一定启发和帮助作用。该示波器具有的实时波形录制及搜索回放功能，也是一个很突出的功能，方便以后需要记录波形来进行对比。

总的来说，DS6104是一台好用且功能强大的国产高端数字示波器。





◎杨法（BD4AAF）

领略高端示波器

示波器是对信号在时域进行测量和分析的主要仪器。示波器在电子测量领域有着悠久的历史，随着科技的发展，测量的信号向高频化、复杂化方向延伸，如近年来很热门的串行总线信号、DDR1/DDR2/DDR3信号、高速数字和视频信号等。同时，高端用户已不满足只看大致波形，更需要对信号进行精确的测量和捕获偶然事件，由此对测量所用的示波器提出了更高的要求。我们耳熟能详的HDMI信号、USB2.0/3.0、SATA信号的精密测量都需要使用到高端示波器。

高端示波器的发展

早期的示波器为纯模拟线路，采用示波管作为显示界面，对于信号参数的测量基本靠示波管上的刻度。后来随着微处理器技术的加入，一些模拟示波器的控制电路开始向电控和程控发展，并逐渐加入了手动测量和自动测量功能，同时实现了在屏幕上直接读出测量数值和辅助信息的显示功能，简化了操作，提高了测量的准确度，避免了人工刻度读数的误差。理论上，模拟示波器（ART）是即时显示信号变化的实时示波器，同时分辨率也是无限的。

继模拟线路示波器后，随着模数转换电路和微处理器技术的发展，数字示波器开始崭露头角。数字示波器一上市，其数字化带来的波形存储功能、自动化测量功能、低频信号显示质量等一系列优点受到广泛的关注。由于早期数模转换电路的工作频率有限、处理器运算能力不高，所以早期的数字示波器称为数字存储示波器（DSO）。虽然数字存储示波器有一些显著的优点，但与传统模拟示波器相比依然有一些不足的地方，包括分辨率、采样率、显示等问题，为此在较长一段时间内，在高端应用中出现模拟示波器和数字存储示波器共存的局面，尤其在一些特殊的应用领域（如视频领域）。

随着数字化器件和处理器近年的迅猛发展，A/D转换芯片和处理器的处理能力得到了极大的提升，数字示波器打破瓶颈，从性能和功能上都发生了质的飞跃。数字示波器从DSO发展到实时数字示波器，进而发展到DPO（数字荧光示波器）/MSO（混合信号示波器）。DPO对信号处理的能力要远高于DSO，其显示优势和信号处理及捕获特性翻开了数字示波器的新篇章。由于新技术的应用和测量性能的提高，在高端领域，越来越多的模拟示波器被数字示波器所替代。现代高端示波器除了具有高性能的信号采集和处理前端功能，对信号的后期软件处理也是其一大特点。

现在的高端示波器已经超出了传统示波器基本功能，很多产品已是集示波器、逻辑分析仪、协议分析仪于一身的综合设备。一些高端示波器基于PC的Windows平台，还配备了键盘与鼠标作为操作设备，有的用户甚至可以在示波器上打PC游戏。同时，软件在高端示波器中的作用越来越重要，同处理性能等级的硬件架构配合不同水平的软件，实际表现会大为不同。另外，一些高端示波器具备了软件和硬件的升级能力，拓展了应用范围。下面，让我们来领略一下主流高端示波器的风采，进一步了解高端产品的特点。

高端示波器功能详解

高带宽 高采样率

带宽和采样率是标志数字示波器特性的“明星指标”。早期模拟示波器时代，为标志示波器的前端模拟放大器特性，引入了“带宽”的概念，后来这个概念主要用来标志示波器具备的显示信号的能力（频率范围），并深入人心，沿用至今。了解示波器带宽传统定义标准的朋友都知道，示波器真正能较小失真地测量电压和显示波形的工作频率范围远小于标称带宽，而且对于显示一些复杂信号，对示波器的带宽要求更高。例如，你用一台60MHz的示波器去测量一个50MHz的方波信号，看到的波形和测得的电压幅度都会有较大的失真。在有些示波器上，你甚至会怀疑看到的是否还是方波。

为了确保测量的准确性，高端精密应用所选用示波器的带宽往往高于测试频率的3倍以上，这就使得高端示波器必须具有很高的带宽。目前，高端示波器模拟通道至少都具备500MHz带宽，主流应用产品都达到1～4GHz带宽的水平，顶尖的示波器则可以具有30GHz以上带宽。

对于数字示波器来说，高带宽是要以高采样速率作为支撑的。采样率偏低会丢失信号的细节，不利于信号波形的再现，严重的还会出现假信号。高端示波器尽管使用各种高级的数字重建形式的优化算法，但采样速率至少都大于带宽的4倍以上。例如Agilent高端的Infiniium 9000系列示波器中，1GHz带宽的DSO9104A和4GHz带宽的DSO9404A都具备20GSa/s的采样率。

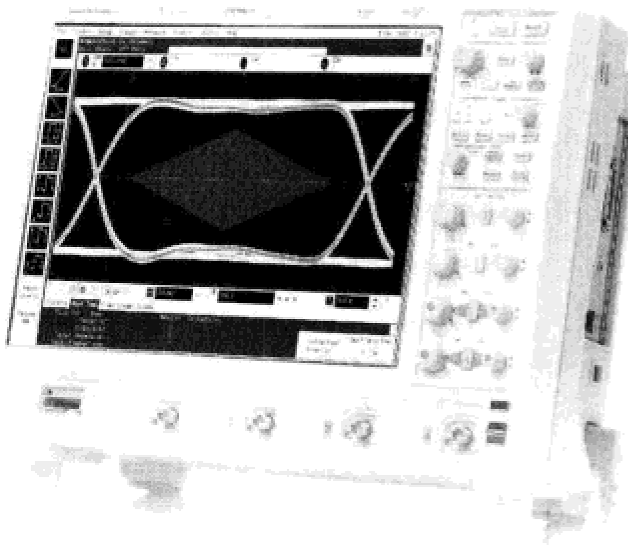
需要注意的是，数字示波器的带宽和采样率并不代表示波器的全部性能。一台500MHz带宽的高性能示波器，测量一两百兆赫的信号，有可能实际效果优于普通的1GHz带宽示波器，能看到某些在普通1GHz示波器上被忽略的细节。这与示波器的噪声、抖动、每秒波形更新速度、稳定性等指标有关，也与示波器处理软件的特性有关。

通常，很多示波器都喜欢标上最大采样率，给人很强大的感觉，部分产品标称的最大采样率实际上只适用于一个通道单独使用，在实际使用多通道工作时，采样速率会等比下降，相当于平分到每个工作通道上。高端示波器在产品设计时会充分考虑到全通道同时使用的情况，确保每个通道都有较高的实际可用采样率，保证信号采集的性能，在指标数据的标称上比较严谨。如果高端的Agilent 90404A示波器标称采样率是20GSa/s，实际上其每个通道的采样率均可达到20GSa/s水平。

大肚能容——大存储深度的优势

大存储深度是高端数字示波器另一大特点，而且高端机型还可以手动或自动设置存储深度，以适合不同测量的需求。存储深度=采样速率×显示时间，理论上，配置越高的采集存储器，就能记录更长时间的信号，同时维持高采样率。高端示波器一般每个通道标配的存储深度在10Mpts左右，并可以扩展到1Gpts的超深存储，能够捕获10亿个样本。一些低端产品，由于存储深度很小，所以实际工作时只能以降低采样率来进行存储，降低了信号采集精度，影响了后期扩展应用。如同上面提到的采样率一样，很多示波器喜欢标上总存储深度，如果多通道同时操作，存储容量将进行平分，每个通道实际具有的存储深度将降为原来的1/*n*。高端示波器往往会实实在在地标明每个通道的存储深度，不玩文字游戏。

示波器的深存储特性不能只看存储深度的大小，在深存储模式下，示波器的响应能力是高端专业用户比较关注的问题。在深存储模式下，具有同等级存储深度（容量）的示波器很可能响应能力大不一样，实际工作中会影响工作效率，与之相关的指标和特性在一些中低端产品中往往是回避的，或者本身配置存储深度很小，问题不明显。



Infiniium MSO9104A

示波器的深存储技术不是多加一点存储器那么简单，这是高端产品有别于廉价产品的一个技术要点。不同的深存储结构对响应能力的影响是不一样的，示波器厂家一直在致力改善这个问题，也就是响应速度问题。很多示波器将深存储功能作为一个专用模式，供用户在特殊需要时才开启调用，平时常规工作状态并不在深存储模式下。一些高端示波器通过提升硬件和改进软件，在深存储下依然具有很高的更新速率，确保对模拟信号进行精确表征。也有一些高端示波器具有存储器自动进行深度选择的功能，以达到较好的平衡。

没有最快只有更快，更新速率显威力

高更新速率是高端示波器的重要特点。更新速率是指一台示波器每秒能够采集、处理、显示波形的数量，是数字示波器整体处理性能的体现。高端示波器的更新率可以达到每秒50000～100000个波形，低端示波器由于处理器能力有限，往往回避这个数据，而更喜欢用采样率数据来吸引用户的注意力。提高更新速率可以缩短示波器测量的死区时间，大大提高捕获随机事件和偶发事件的几率，同时也改善了屏幕上看到波形变化的动态性，提高了显示质量，更容易显示出信号的细微变

化。通常具有高更新速率特性的示波器的处理器性能强大，有很好的响应能力，更改设置几乎无需等待就能进入测试状态。示波器的更新速率不是恒定的，有些示波器在深存储测量模式下更新速率将大幅度下降，使捕获偶发事件的能力（如捕捉毛刺）大大降低，而一些高端示波器则可以做到深存储模式下更新速率几乎不受影响，基本保持原有性能。

与众不同的显示特性

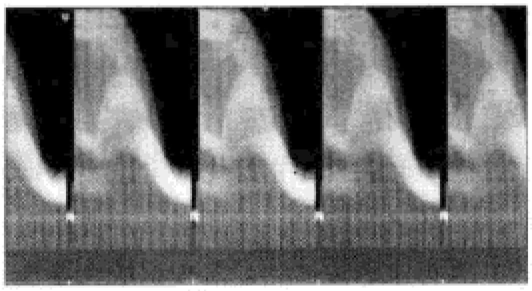
模拟示波器具有亮度调制功能，可以显示波形多层次的明暗亮度变化，这些属于信号在特定X-Y位置产生的频度的信息，也被一些用户称为“第三维Z轴信息”。在某些实际应用中，这一信息非常有用，如用来观察复合调制模拟信号的异常。这是模拟示波器结构与生俱来的特性，并非刻意通过专门的电子线路来增加的显示特性，不管是高端还是低端的模拟示波器，都具有这种特性。这也是在一些领域模拟示波器依然被广泛应用的主要原因之一。由于传统DSO没有亮度等级显示能力，显示屏上每个像素点只有一种亮度，在视觉上不能直观地显示信号包络内的细节信息，只能通过图形来显示单纯的电压和时间关系的二维信息，而且在一些应用中存在混叠失真的问题。

高端数字示波器在显示特性上有很大的提升，几乎都具有余辉显示功能（荧光效果），有的厂家称之为“DPO”，有的厂家称之为“MegaZoom”，其实主要原理基本相同。这种数字示波器通过增加数字荧光处理器、全新理念的处理软件以及图像处理技术，使显示的每个像素点具有多级亮度或灰度显示（有些中高档产品已经可以达到256级亮度），这样在示波器液晶屏上也能展现原来只有示波管独享的多层次显示效果，使得数字示波器的显示特性有了本质的提高。但是这种新技术实现成本较高，并受到硬件性能成本以及实现方式的牵制，所以不同公司、不同档次的具有余辉显示功能的系列产品，其显示能力和使用效果也不同，高端产品几乎可以与模拟示波器媲美，甚至在一些细节和偶发事件的展现上优于模拟示波器。相对低端一些的产品显示得就比较粗糙，加上一些示波器的存储深度限制，使得使用放大功能查看波形时，效果差异显著。DPO不仅在可视效果上有本质的提升，为了达成DPO显示，示波器在波形捕获性能上也大幅提高，相当于综合提高了数字示波器的测量性能和显示性能。

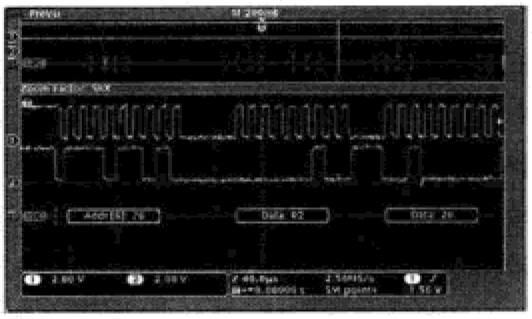
面积大、分辨率高的显示屏

输入通道

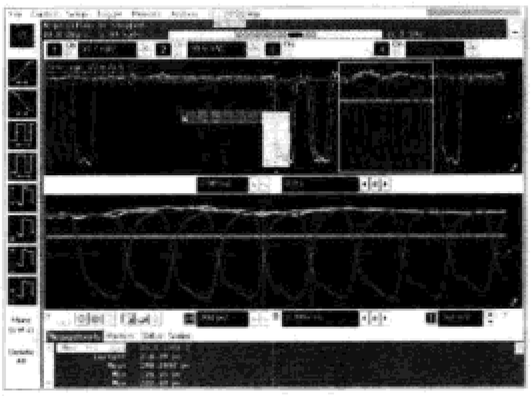
常规的高端示波器具备4个独立的模拟输入通道，每个通道都能独立设定操作，不像有些低端产品，虽然号称四通道机型，但第三、第四通道的部分机构是公用的。在当下时髦的数字应用和嵌入式调试应用中，即使示波器具有4条通道，往往还远不够用，所以有的示波器附加了16条逻辑通道。这使得示波器成为具有最多20条与时间相关的触发、采集和查看信道。具有这种特性的示波器，有的厂家称之为MSO混合信号示波器。如果你需要观察内存工作信号，那么MSO会带来很大的方便。一般的MSO虽然也提供16个数字通道，但每8个数字通道只能设置一个逻辑门限，限制了应用的灵活性。高端的示波器则每条通道都可以设置独立的门限，方便用户同时追踪不同电平标准的数字通道信号。



多级灰度显示



多输入通道



自动测量功能

高级触发功能

高端示波器的触发功能要比普通示波器丰富得多，通用示波器最基本的常用触发功能是各种边沿触发，但在高端应用中，尤其是一些专项测试中，还需要用到更多高级触发功能。高端示波器往往具备针对性比较强的触发功能，比如针对串行设计应用的串行触发协议功能。一些高级功能甚至可以自动识别并隔离出异常信

号，为信号的分析和偶发事件的寻找带来极大的方便。总之，高级触发功能可以大大提高工作效率，优化测量品质，而且在很多高端测试中，特定的触发功能或模板已经成为必不可少的配置。

高端示波器的核心

显示、存储、分析是现代高端示波器的主要特性。显示包括信号的采集、处理、最终显示图形的合成。信号采集的关键硬件是高速的模数转换（A/D）芯片，随着测试信号的频率越来越高，示波器的带宽也越来越宽，对A/D转换芯片的性能要求也不断提升，市场上顶尖的高速A/D转换芯片供不应求。信号采集单元有示波器“硬核心”的说法，它的设计关系到示波器的测量性能。信号采集单元并不是一块或一组A/D芯片那么简单，除了关系到广为用户所关注的示波器带宽和采样率外，更关系到信号采集的品质，包括稳定性和噪声等，对于后续的信号处理有决定性的作用。从硬件的角度看，相对于数字示波器的其他硬件单元，如处理器单元、图形处理单元、显示单元，信号处理单元的含金量要高得多。

现代示波器对信号的处理都依靠微处理器软件处理，软件的功能、算法、执行效率成为示波器的“软核心”，同等级硬件配置的示波器会由于软件的不同而出现明显的性能差异。Agilent、LeCroy、Tektronix国际三大顶级品牌示波器各有所长，主要竞争还是在软件的核心技术上。软件可使数字示波器具有多种自动测量功能。高端示波器具有更多、更专业的高级触发功能，为测量一些复杂信号和特定信号提供方便，提高测量效率和品质。数字示波器最终展现在用户眼前的波形是通过电脑合成的图像（波形），如何有好的显示效果、如何优化显示的任务，则是由图形处理单元和显示单元共同担当的。高端的示波器（如DPO）在液晶屏上实现如同模拟ART示波器示波管那样的余辉三维显示，就是图形处理单元和数字处理算法的杰作。

高端的示波器会配置面积大、分辨率高的显示屏，色彩和可视角度都达到高级显示器的水平，有利于对复杂波形的显示和观察。高端示波器屏幕的分辨率一般至少达到XGA（1024×768）的水平，有的产品为了提高操作的直观性，还引入了触摸屏和在线帮助以及导航功能，极大地简化了操作区按钮的密度，减少了占用空间。考虑到体积和便携性，不同用途的高端示波器可能配置10～15英寸不等的屏幕，但基本都具备外接显示器的功能，以提供更大的可视面积。

存储是数字示波器与生俱来的特性。在测量复杂信号时，虽然操作比较复杂，但高端示波器设计了友好的操作界面，使操作更为得心应手，绝大多数高端示波器的分析软件都可以方便地进行波形的缩放/平移、用户标签、播放/暂停等操作。在录制波形的基础上才能进一步实现波形的回放和分析。高端示波器都提供深存储特性，以便后期放大和分析。现在存储IC的价格非常便宜，相对于高端示波器的售价可谓九牛一毛，记录存储本身技术含量不高，主要是要处理好深存储与响应能力的问题。很多国际品牌的中低档示波器相比国货，在存储深度方面大为逊色，主要是国际品牌有意凭借有限存储深度特性，拉开产品线的档次，而国货产品喜欢利用这点来增加产品亮点。

强大的分析功能是高端示波器的一大特点，除了对波形的回放和细节放大显示功能外，高端示波器还常常提供逻辑分析仪和协议分析仪以及解码功能，对高端应用信号的测量有特殊的实用意义。数字化的时代，人们对高速数字信号的测量提出了与传统模拟信号测量不同的要求。数字信号往往以方波形式出现，单个波形与幅度的基础测量已经不太重要，用户更希望通过仪器来监视数字信号物理层的传输情况，如误码率、传输信息等，以便对硬件进行调试和判断故障所在。利用示波器的深存储功能记录一段时间内传输的数字信号脉冲，然后利用回放来分析这些脉冲方波间蕴含的信息，这就需要示波器具有逻辑分析仪的功能。

带宽可达45GHz的LeCroy 9Zi-A系列示波器

解码功能可以使物理层中传输的脉冲方波信号转换成更容易理解和实用的数据信息展现在用户面前，对于在系统调试时针对特定数据的查找极其有用。对于更专业的应用，如现在流行的各种串行总线的调试，高端示波器针对特定协议专门提供触发和解码能力，可大幅度提高工作效率，有助于更迅捷地发现调试中寻找的问题。对于高端示波器来说有时会出现“1+1<1”的情况，即一台独立通用示波器加上一台独立逻辑分析仪比不过一台内置逻辑分析功能的MSO示波器。

晒晒我的工作室/实验室

◎陈怡斐

我在实验室中成长

撰写本文时，我是一名大三在校学生，正在为2011年8月31日开赛的全国大学生电子设计竞赛作准备，看着实验室里同学们为竞赛忙碌准备的身影，忙里偷闲，想同大家分享一下我在大学实验室里酸甜苦辣的故事。

大一刚入校，我在大三学长的介绍下，开始知道了学校的实验室——西安科技大学创新科技实验室。在兴趣的指引下，我经过面试、笔试，以及日常测评的三重考验，终于在大一上半学期结束时成为了实验室的正式成员。经过大一第一学期的学习，我掌握了万用表、示波器、信号源等基本仪器的使用方法，也接触了我认识的第一款单片机——51单片机。

我们常用的实验室设备

我们的实验室不算大，其中有3个柜子，分别放置常用书籍、常用工具、常用元器件，可以很方便地查阅相关资料以及领取需要的元器件。实验室里，从调试程序用的电脑到电烙铁、剥线钳、螺丝刀、镊子、剪线钳、吸锡器之类的必备工具一应俱全。就是在这里，我完成了一件件的电子小制作。

图2所示刻板机是我们实验室里经常使用的，自己动手制作印制电路板的工具。它兼容Protel软件，直接利用Protel的PCB文件信息，在不需要任何转换过程的情况下直接输出雕刻的数据，通过自定义的数据格式控制刻板机做雕刻、钻孔、切边工作。我们按照自己设计好的电路原理图，然后用Protel软件画出PCB图，检查无误后，把设计的PCB文件输入刻板机，再放入自己手工裁好的铜板，机器就可以开始印制电路板的制作了。通常，制作一张普通100mm×100mm线路板只需要几分钟。我们实验室的这台机器只能制作到双层板，而且制作完后可能会需要用电钻进行进一步打孔，不过实际效果还是不错

图1 我们实验室的口号

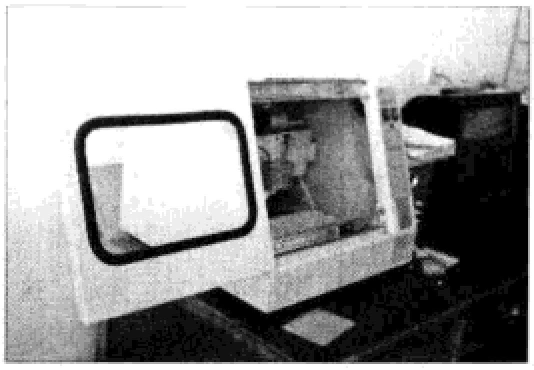


图2 实验室里的刻板机

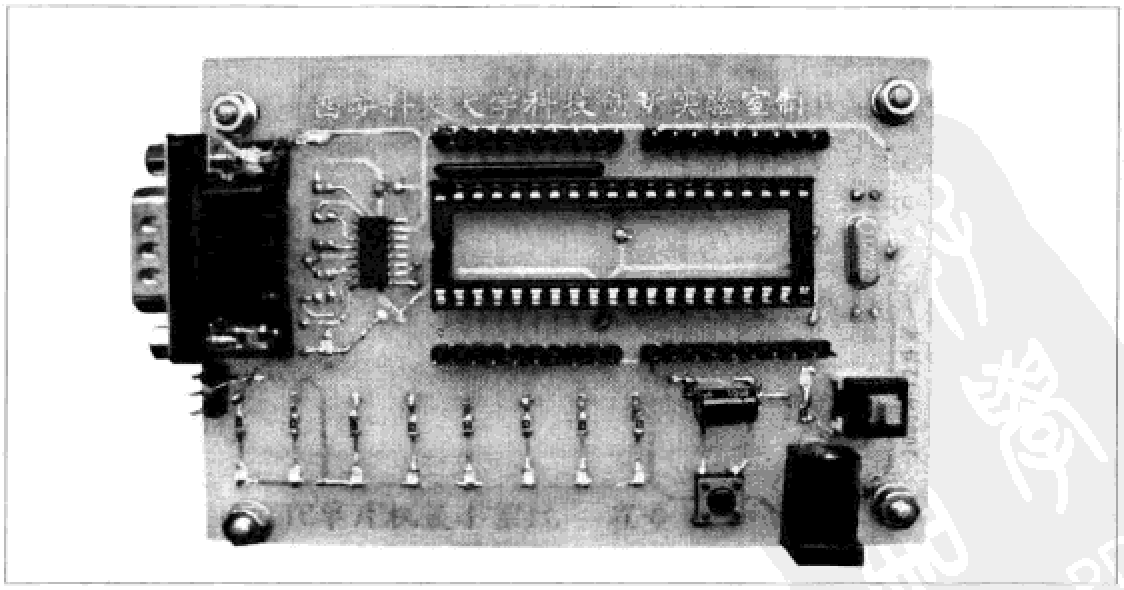


图3 用刻板机制作的电路板

图4 2009年上海RoboCup公开赛场景

图5 我们参赛的机器人，采用AVRmega128作主控芯片，内部装有陀螺仪来进行平衡控制

的，一般的设计电路都可以满足。图3是我用这台机器自己刻制的板子。

大一下半学期末，我们学校进行了全国大学生电子设计大赛选拔比赛。怀着对梦想的憧憬，我和好朋友薛宇辰报名参加了选拔赛。我们做了一个简易的液晶计算器作为选拔赛作品，虽然现在看来，那个东西并没有太高的科技含量，可是对于当时的我们来说，也算是一个不小的挑战了。虽然意料之中的结果是目送着实验室大三、大二的学长们去参加全国比赛，但那次经历也为自己以更多热情投入到电子设计学习中坚定了信念。

我的RoboCup公开赛经历

不久以后，我得到了一次机会——参加在上海举办的2009年中国机器人大赛暨RoboCup公开赛（见图4）。从此，我开始了我的机器人之旅。

我们报名参加的项目是舞蹈机器人，顾名思义，就是让机器人去跳舞。我开始去接触 AVR 单片机，开始感叹它性能的强大，开始去了解机器人外形设计，开始去思考各部分机械结构的工作原理以及舵机的控制方法。我发现，机器人的魅力是无穷无尽的，让人爱不释手，它被我们赋予了生命，演绎出新的辉煌。我们没日没夜的研究，发现了许多以前根本不曾接触过的知识，越是这样，我们就越是兴奋。

经过半年的努力，在老师的带领下，我们终于完成了机器人的设计与制作（见图5）、舞蹈节目的编排，于2009年年底踌躇满志地踏上了去上海参赛的征程。可是到了比赛现场我们才发现高手如云，个个参赛队都准备得十分充分，我们也不敢怠慢，马上开始了场地的适应以及机器人的调试工作。比赛中，机器人顺利地完成了设计的动作（见图6），获得了评委一致的好评，最终取得了全国二等奖的好成绩。

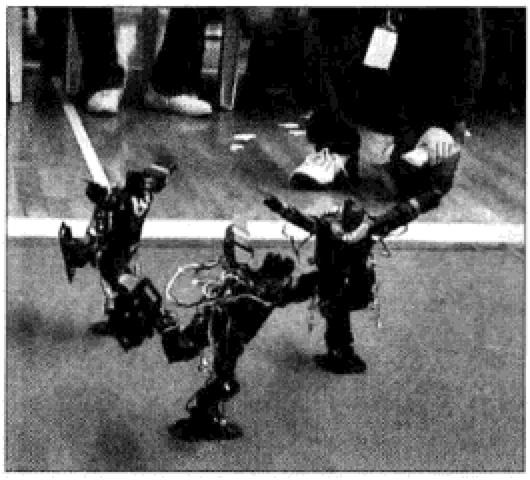


图6 参赛机器人在完成设计的舞蹈动作

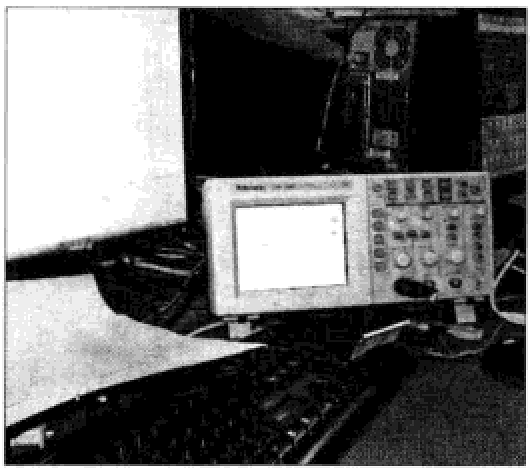


图7 暑假比赛时，测试我们自制电源的纹波

经历TI竞赛

大二，我开始了430单片机的学习，可以说是为了参加暑假的2010年陕西省第二届大学生TI杯模拟及模数混合电路应用大赛打基础。初次接触430单片机，我既兴奋又紧张。兴奋的是，它是真正意义上的16位单片机；紧张的是，不知道该怎么下手。在接下来的日子中，我查资料、编程序，一有时间就往实验室跑，为的就是编出满意的程序。有时一坐就是一整天，连吃饭的时间都忘了，整个人异常兴奋，我想这就是单片机程序的魔力吧。经过大二的“特训”，我在430单片机上的学习也更加深入，终于迎来了暑假的TI竞赛。

参加TI竞赛的时候，我们选择的题目是“点光源跟踪系统”，比赛要求所做的智能红外线激光可以自动寻找光源，并且伴随着光源的移动面移动，光源的亮度可以调节。比赛总共只有四天三夜，在这短短的四天时间里要想完成这么一个系统，难度可想而知。

在第一天的时间里，我们进行了外形的设计，讨论了各种方案，始终不能得到满意的结果，浪费了一天的时间。第二天一大早，天刚刚亮的时候，我突然想到了一个简单的方法，用3个光敏三极管在不同的方向上感受亮度，来达到确定光源的目的。随后，我们开始了外形的设计，屏蔽掉外界不利因素的干扰，利用光敏三极管对不同强度的光照产生压降不一样的

特性，确定了光源的位置。不过这个方案虽然实现了光源的寻找，可是在精度上还远远不够，我们又马不停蹄地寻找解决精度问题的办法。最终发现，精度不够是因为有一个光敏三极管的灵敏度比其他两个的灵敏度差，我们便赶快换了新的光敏三极管进行了测试，最终如我们所愿，顺利完成了设计要求。

最后，在这次TI竞赛的现场调试时，出现了一些小瑕疵，在寻找光源时，由于测试现场外界灯光亮度的干扰，导致红外探头没有及时指到光源，出现了一点偏差，只获得了陕西省一等奖，与代表陕西省晋级全国赛失之交臂，留下了一个遗憾。

自制简易数字示波器

大三的上学期，我在学习之余，做了个简易的数字示波器，虽然功能不够完善，但基本功能也是一个不差。制作之前，我查了许多资料，对自制示波器的相关原理了解得比较透彻了，但是在后来的实际完成过程中，还是遇到了不少问题。首先，像这类电子制作，干扰的消除往往是第一位的，例如纹波；再次，就是AD采样的速度问题，要么需要提高单片机速度，要么采用先入先出存储器FIFO对数据进行处理；最后是显示的问题，我采用的是液晶打点画图的方式。不同的方法带来不同的影响，这时我才发现，我研究得不够深入，于是在上述问题的解决上耽误了太多时间，最终花了近3个月才完成。

备战2011全国大学生电子设计竞赛

一转眼，大三即将结束，今年的瑞萨杯全国大学生电子设计竞赛如期而至，这是又一次锻炼与提升自己的好机会。7月前，我们通过校级的选拔比赛来进行了第一次筛选，入选后进行了分组，三人一组，从7月13号就开始了统一的培训。我们刚开始培训的时候就明确了小组每个人的分工和责任，再确定了竞赛方向。我们小组是模拟方向，还有的组是控制方向。因为是模拟方向，所以培训初期，我先进行了各个模块的设计，比如放大器模块、跟随器模块、滤波模块、程控模块、液晶模块等，方便比赛的时候使用。接下来，我们将针对历年的比赛真题以及学校指导培训的老师出的一些模拟题，开始进行成品的设计与制作。

从2009年没机会参加这项比赛到今年终于有资格参加，我经历了两年的学习时光，从理论知识到应用技术都有了很多的长进，更重要的是，自己成熟了不少，也学会了用平常心看待事物，审视自己。无论今年比赛结果如何，我想，只要有梦想，并且为之付出不懈的努力，即使最终失败了，那我也不是真正的失败者。

也许有人会说我的大学生活太过于单调，总是围绕着实验室转圈，可是我要说，这都是因为梦想，因为我对电子设计的爱好。在这里，每一天我都会接触到新的知识，每一年都会完成新的制作。我经常会想，这就是我所追求的生活吧。在实验室里，我可以学到许多课本上没有的知识，可以锻炼自己的动手能力。我会继续坚持下去，成为一名真正的电子人！

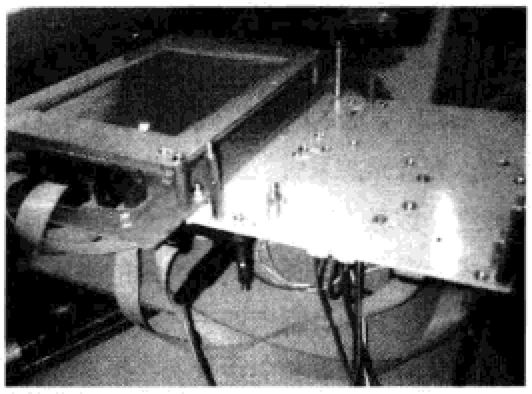


图8 用430单片机制作的数字示波器

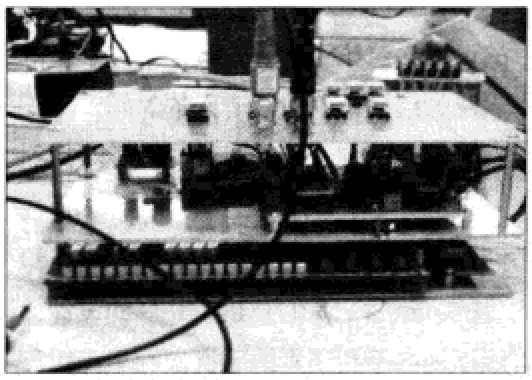
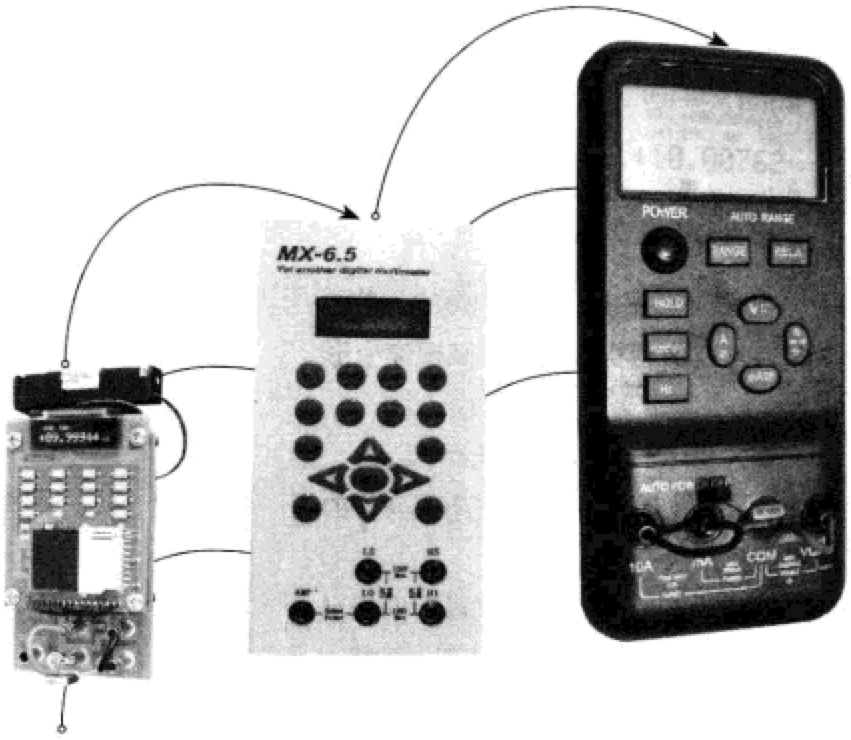


图9 用FPGA完成的数字示波器

图10 8月的实验室里忙碌备赛的场景



自制手持高精度六位半数字万用表

◎孟欣

编者按：追求极端高精度手持表的发烧友一定不会错过德国GMC的METRA Hit 30M，它是一款很少见的6位半手持表，其性能甚至可以与著名的Agilent 34401A台式表媲美，指标方面各有胜出。作为一款手持表，它能有如此配置，实在难得，当然近万元的售价也属于“发烧”的价格了。本期我们刊登的这篇自制高精度六位半万用表的文章，从制作和器件选择方面看，对于普通爱好者都有一定的难度，但我们希望通过这篇文章让读者感受到两点，一个是借此了解动则成千上万元的高档万用表的基本技术，一个是相信每位业余爱好者在悉心钻研下，也能完成高水准的专业设计与制作。

缘起

最初有DIY高精度手持万用表的想法是从看到了2009年张利民（BG2VO）老师关于“德国GMC METRA Hit 30M手持6位半”（http://www.38hot.net/bbs/read.php?tid=181）的文章开始的，那时才知道，原来手持表也可以达到这样的水平。我平时DIY确实需要较为称手的工具，而市面上手持表要么精度较低，要么太贵，而二手的台式仪表体积太大（想想北京的房价），折算起来也不便宜，所以决定自己做一个。这样既解决了工具问题，又可以通过实际项目提高自己的动手能力，倘若成功，也可以分享出来供DIYer参考。

METRA Hit 30M

后来，蒙张老师指点，从研究HP34401公开的电路图做起，受益颇多，思路慢慢地清晰起来，经过几次改版终于有了可用的版本。

术语

首先解释一下高精度万用表的一些术语。为了直观，这里用数码相机来类比，当然可能不太恰当，但是也有很多共通之处，毕竟数码相机也是“光学前端+二维ADC”嘛。

◆ 基本量程：仪表不经（或较少）前端处理的量程，由于信号调理的途径比较短，所以可以取得最好的指标，相当于单反数码相机安上了定焦镜头的焦段。

◆ 采样速度：每秒钟获取多少个读数，大概相当于相机的最大连拍次数。

◆ 分辨率：最小的变化量与满量程的比例，这个比较重要，相当于数码相机感光元件像素数量，高分辨率可以更清晰地观察到数据的细微变化。

◆ 非线性度：是指测量的数值曲线与理想的线性（一次）函数的最大偏差，这个大概可以想象成相机畸变，你用它去照一把尺子，非线性度就是尺子变形的程度。

◆ 噪声：输入恒定时读数的变化，相当于数码相机的噪点，当然越小越好。

◆ 输入阻抗：电路的输入端电压与输入端电流的相量之比，相当于数码相机的感光度，电压测量时输入阻抗越大越好，这样可以在很高源阻抗的条件下（相

我设定的DIY预期目标如下：

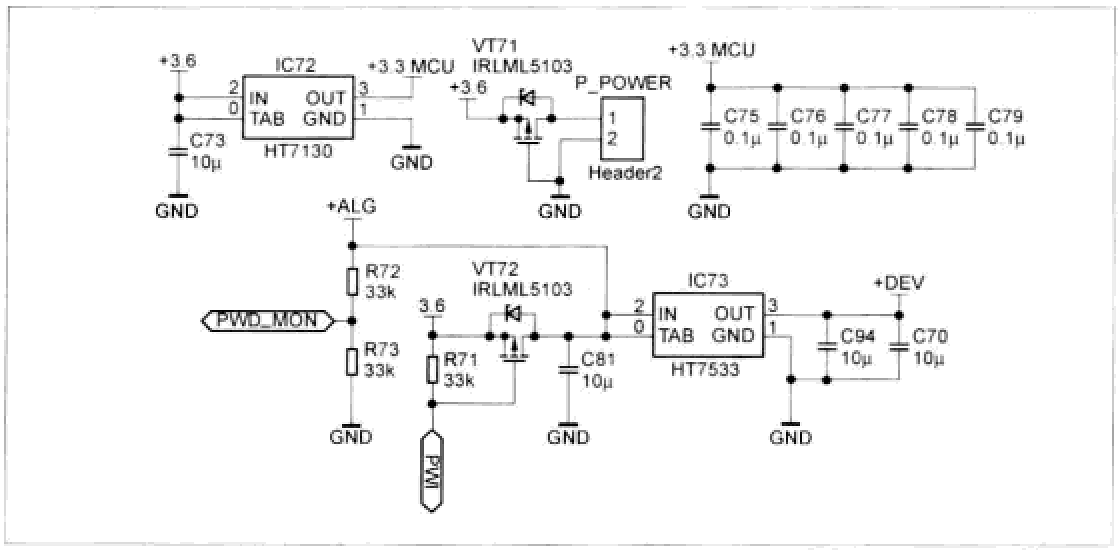
- ◆ 基本量程：1V，10kΩ
- ◆ 分辨率：六位半（百万分之一，1×10^{-6}）
- ◆ 采样速度：5S/s
- ◆ 噪声：1×10^{6}（基本量程，5SPS）
- ◆ 非线性度：$<10\times10^{-6}$
- ◆ 输入阻抗：>10GΩ
- ◆ 温飘：$<10\times10^{-6}$/℃
- ◆ 长期稳定度：50×10^{-6}/1000h

当于光照很差），取得较低的噪声和较好的精度。

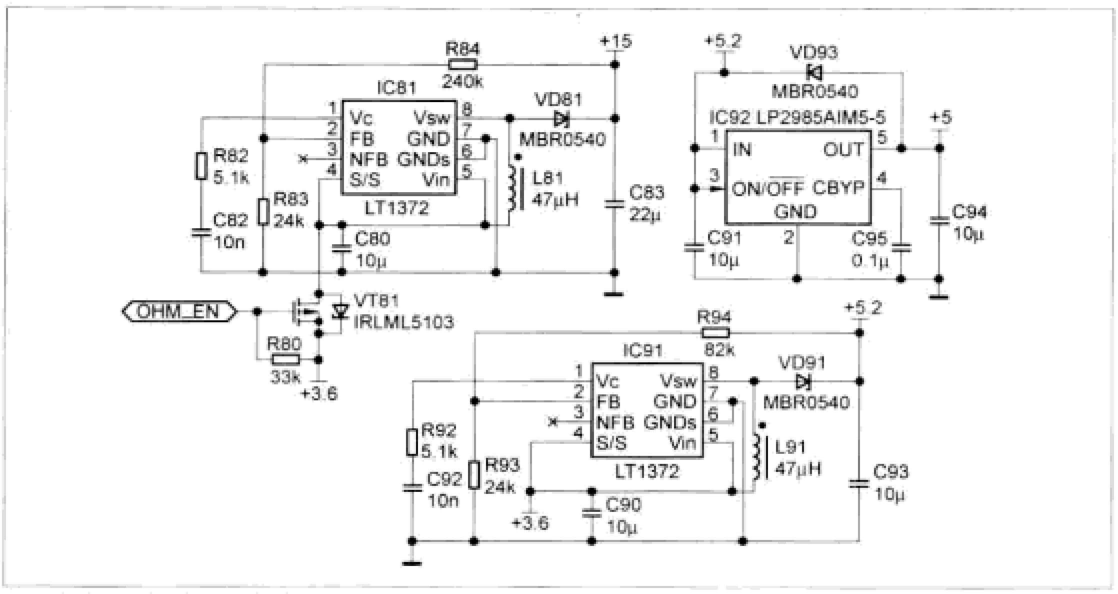
◆ 温漂：温度对测量的影响，差的温漂特性就像相机的镜头，随温度变形很大。

◆ 长期稳定度：（较长期，以月、年计的）时间对测量的影响，就是常说的老化特性。

此外，还有对于手持仪器来说相当重要的安全特性，由于自己还不太了解，所以就不乱解释了。



MCU供电电路



测量和欧姆电流源供电电路

设计思路

目前高端数字多用表（HP34401为代表）采用“恒温深埋齐纳基准——前端为Dual JFET的混合低噪声运算放大器——多斜率积分高速、高分辨率ADC 为主轴”的测量系统，从而达到优异的长期稳定性、温漂、噪声和非线性度等指标，其中每个部分的制作难度都非常高，往往需要使用难以采购的元件，或者订制的特殊器件，并且需要昂贵的仪器进行调试、校准，这样的要求在业余条件下是难以满足的。

手持仪器的设计受体积、功耗、重量的约束比较严格（仅1只LM399的功耗就会超过整个手持表的总功耗），所以要从整体上综合考虑，首先明确优先的设计目标（或者说最强的约束）是什么，然后以此为中心开展设计工作。

出于综合的考虑，我制订的优先设计关系是：低成本>小巧>低功耗>高性能。基于这个原则我的设计选取了这样的方向：

1. 选用易于采购的通用元件

这里采用了相对低成本的通用IC，精密带隙基准+低噪声斩波稳零放大器+24Bit低噪声ΣΔ ADC来构成测量系统，这样既可以减少元件采购难度，降低整体成本，最重要的是，能在业余条件下得到可靠的性能保证（否则自己DIY个6位半的ADC，测量其非线性度至少要 HP3458 级别的仪器）。

2. 放弃高电压、大电流量程

对这些量程进行高精度测量本身难度就非常高，而且对系统的输入选择、保护系统提出了很高的要求，元件质量要求高，PCB面积占用大。最重要的是，要为用户的人身安全负责，为了避免出现安全问题，所以我没有设置危险的测量量程。

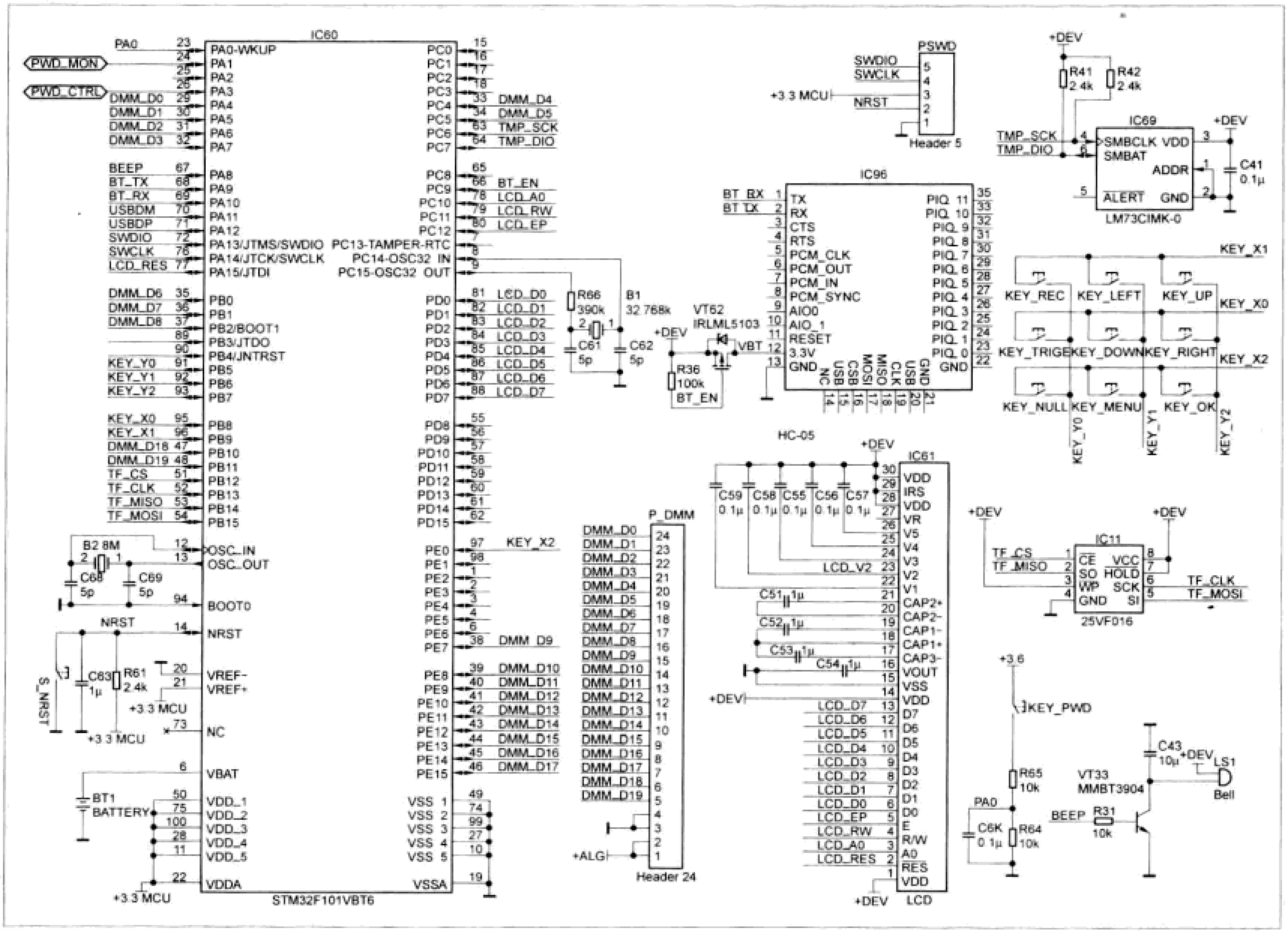
3. 放弃长期稳定性

要靠数字万用表本身来保证长期稳定性，这意味着整个系统的每个关键部分都要有很高的长期稳定性，基准要用深埋齐纳基准，分压电阻要用精密电阻网络等，成本会显著提高。相对而言，购买或制作标定好的基准要便宜得多，而且在进行对比测量时，可以将整体的精度提高到接近外部基准的水平。

电路

1. 电源系统

受手持仪器体积约束，可供选择的电池方案主要是单节5号电池，其中有1.5V碱性一次电池、1.2V镍氢/镍镉电池、3.2V磷酸铁锂电池、3.7V锂离子电池。其中，能量密度最高的是3.7V锂离子电池，但是安全性稍差，并且货源较少，



MCU控制系统电路

镍镉/镍氢电池需要升压器才能满足MCU的工作电压，磷酸铁锂电池有较为可靠的供应商，且安全性较佳，但考虑到LCD显示需要3.3V的电压（3.0V以上就能工作，但是屏幕的对比度会下降），所以我还是选择了3.7V的锂离子电池。

电池输入经过反接保护后，经HT7130稳压到3.0V为MCU供电，同时受PMOSFET的控制作为外设的电源，一路经HT7333降压到3.3V，供LCD、Flash、LM37等工作，另一路直接送到模拟部分。模拟板上通过两个LT1373将电压提升到 5V和15V ，供测量和欧姆电流源使用。这里LDO采用HT系列主要是考虑到它具有极低的静态功耗，特别适合为待机的MCU供电。Boost变换器采用LT1373是因为其低成本和通用性（该器件具有NFB功能，可以方便地构成Cuk拓扑结构，组成负电压输出的开关调节器）。

由于锂离子电池很怕过放电，所以MCU通过ADC检测电池电压，在屏幕上以图形方式显示给用户，设定显示全空时为3.2V，一般情况下此时电池的能量已经所剩无几了，用户应该及时充电。万一用户无视警告，MCU会通过内部的电压监视电路强制在电压降到2.9V以下时关闭电源。

电源开关采用了软件控制方式，MCU始终接入电源，用户关机后实际处于待机状态，直到再次按键唤醒系统。这样的好处是可以灵活管理电源系统，并且对开关的要求比较低，避免了开机的冲击电流长期烧蚀触点，造成故障。

在直流测量时实测，整机消耗45mA，交流50mA，电阻65mA，待机状态下小于10μA。

2. 控制系统

（1）MCU

控制系统选型要考虑到价格、性能、功耗、软件资源等几个方面，最后发现STM32系列具有最佳的综合特性。首先价格便宜，中密度型号的10~20元，由于是32位的核心，即使在较低的核心频率下（20MHz）也足以满足运算的要求，从

而间接降低了功耗。另外，STM32系列的资料比较全面，库功能强大，用的人也比较多，有什么问题可以比较方便地从网络上得到解决办法。

（2）显示

显示系统有多种可选方案，有段式LCD、LED、单色COG液晶点阵、彩色TFT液晶点阵、OLED点阵等。其中，段式LCD、LED单价便宜，但是有较贵的开模费用；单色COG液晶点阵功耗低，有现成的器件，但是对比度偏低；彩色TFT液晶点阵像素高，全彩，色彩鲜明，但是背光比较费电；OLED对比度高，功耗与点亮的像素数量有关，但是有较严重的光衰。最后，我选用了一款尺寸合适的128×64液晶屏。

（3）按键

按键系统可以选用塑料薄膜面板、导电橡胶按钮和机械按钮。其中，塑料薄膜面板寿命有限，耐压较低，但是能和外壳结合得比较好，导电橡胶按钮需要专门定制，机械按钮需要和外壳配合使用。出于成本的考虑，最初我使用了塑料薄膜面板，但后来定做的厂家嫌量小，不愿继续加工了，加上找到了现成比较合适的外壳，所以就没有继续使用。

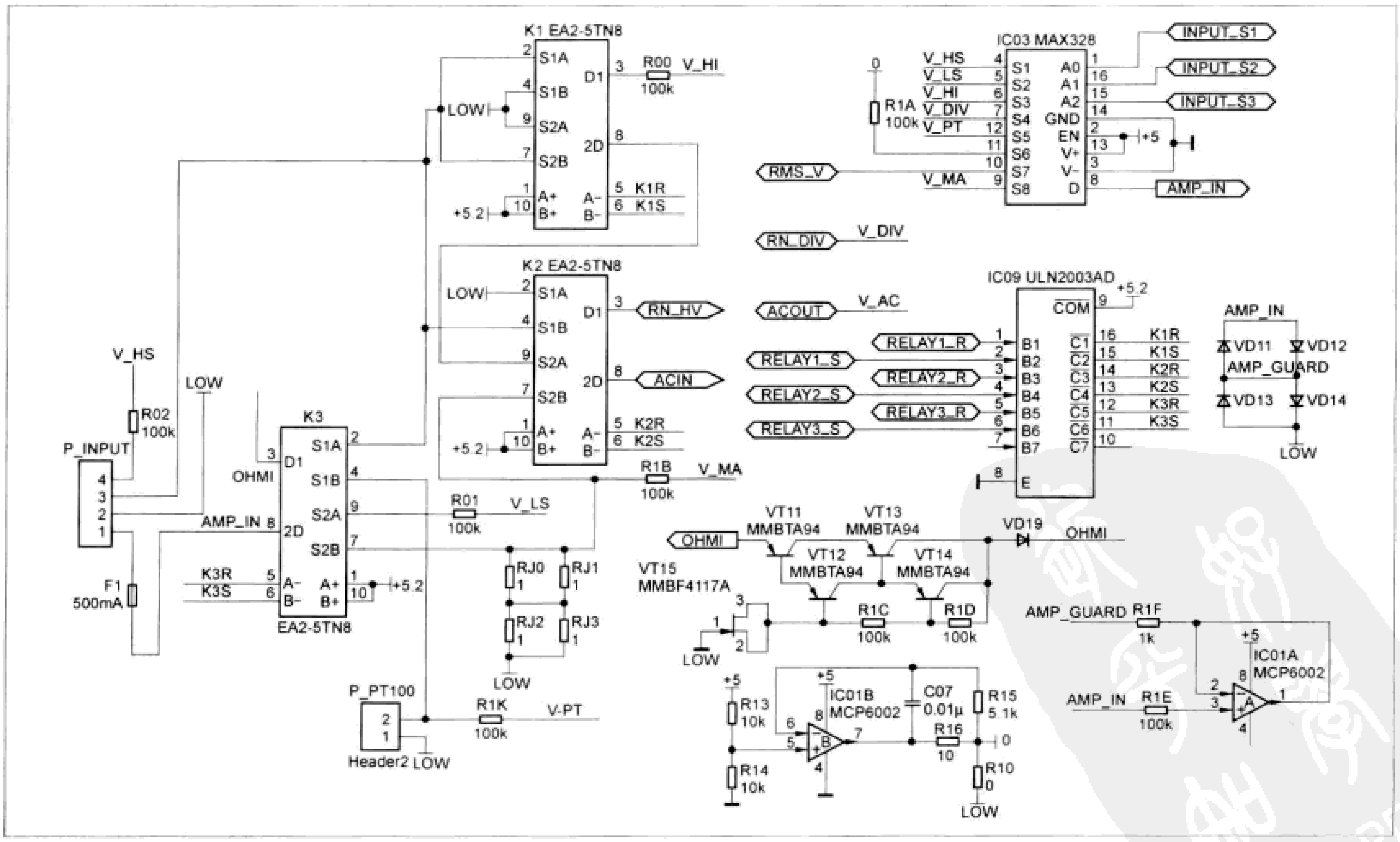
（4）数据存储和传输

数据存储可选用串行Flash存储器、铁电存储器、外置的TF卡等。其中，串行Flash存储器价格较低，比较常用；铁电存储器高速，低功耗，超长寿命，但价格贵，容量小；TF卡容量巨大，可以方便地从PC上读取数据，但是在没有隔离的系统中使用会存在安全问题。

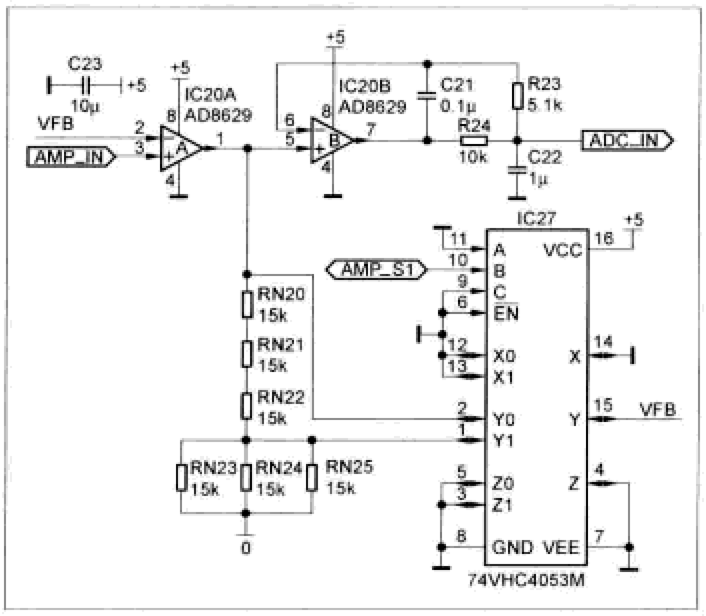
数据传输可以采用隔离的RS232电缆连接、红外、蓝牙、433MHz无线等方式。其中，电缆连接可靠性最高，但是有连线的约束；红外需要PC有红外设备，并且中间不能有障碍物遮挡光路；蓝牙通信距离比较短，但是主机兼容性好（很多智能手机也有蓝牙）；433MHz无线传输距离远，但是由于功率太大，会对测量造成影响。综合考虑，我开始采用的是外置的TF卡，这主要是方便数据往PC导出，并且降低了成本。后来，由于我第3版的外壳是封闭的，加上出于安全的考虑，数据存储使用了8Mbit的串行Flash，通信就使用了常见的一款蓝牙模块。

（5）同步触发和转换完成端口

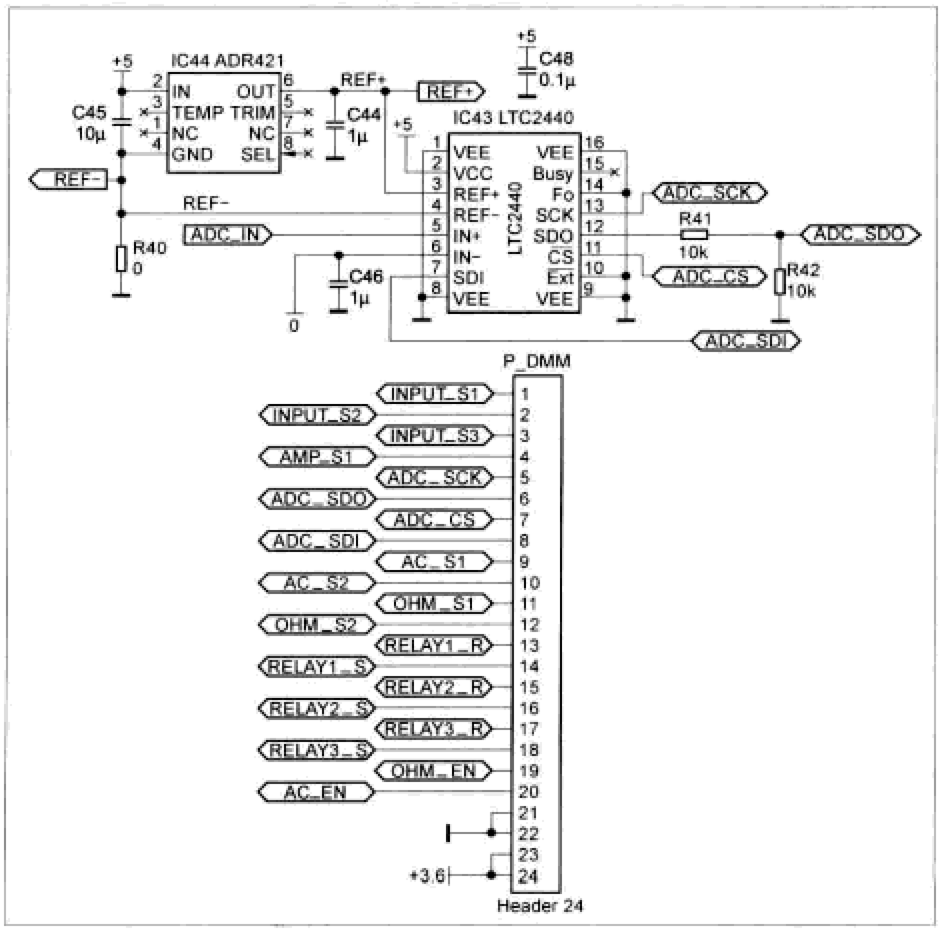
转换完成（VMC）是DMM发给外部的信号，表明本次读数完成，可以进行后续的操作了，比如多路复选开关的切换等。同步触发信号告知 DMM可以进行下一次转换，多用于几个DMM的同步采样，或者必须等待外部条件就绪才进行采样的情况。一般情况下，同步触发和转换完成端口需要隔离，可以选用光耦做成



模拟输入选择电路



程控放大电路



基准和ADC电路

无源的隔离方式（输出直接是光耦的引脚），或者利用 ADUM1201磁隔离器的有源方式（需要外部供电），我在第二版中采用了光耦隔离。

3. 模拟输入选择部分

先看电压－电阻部分。继电器K1选择将HI输入端子分解成2路，一路通过100kΩ电阻保护后直接进入模拟开关，另一路作为交流电压。继电器K2一路选择是否将分压电阻接入HI，另一路选择将交流电压或是交流电流接入交流处理部分。继电器K3一路选择欧姆电流源接入HI，或是通过内部PT100接入LO（此时内部PT100测量的温度作为热电偶的冷端补偿数据），另一路复用LS端子选择其通过100kΩ电阻保护后进入模拟开关，或作为电流输入接入分流电阻。

上面的3个继电器都使用磁保持型的，可以避免长期通电发热导致热电势误差。这里需要提一下的是，分压电阻采用了温漂为50×10^{-6}的晶圆电阻构成阵列，从实际效果看还是非常不错的。

4. 程控放大部分

这里采用了AD8629作为主放大器，该器件为低噪声斩波稳零放大器，后面的模拟开关选择反馈信号配置成×1或×10放大器。运放的后半部分是一个驱动容性负载的缓冲器，用以驱动ADC。同样，这里的分压电阻采用了“3串3并”构成的9:1分压器，由于要求不高，模拟开关采用了常用的74HC4053。

5. 基准和ADC

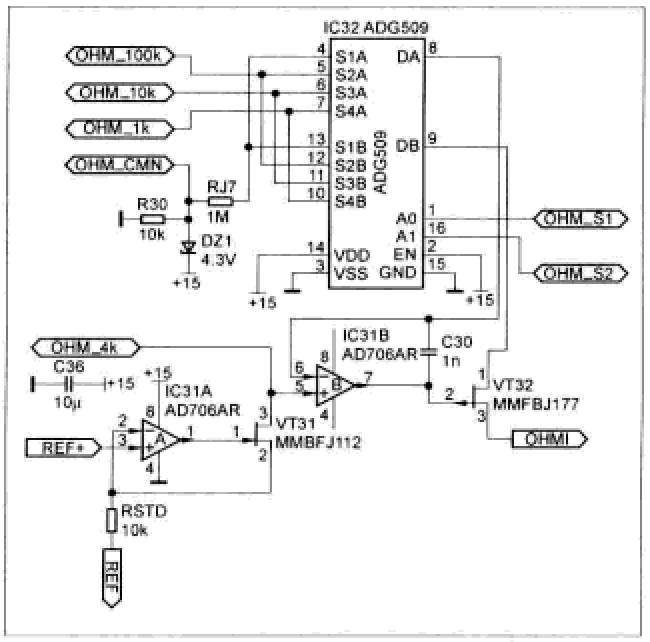
基准采用2.5V精密带隙基准ADR421B，它能稳定地驱动1μF的容性负载，最大3×10^{-6}/℃的温度系数，1.5μVpp 0.1~10Hz 噪声。IC43采用24Bit低噪声ΣΔ ADC LTC2440，可提供接近21Bit的有效位。

6. 欧姆电流源

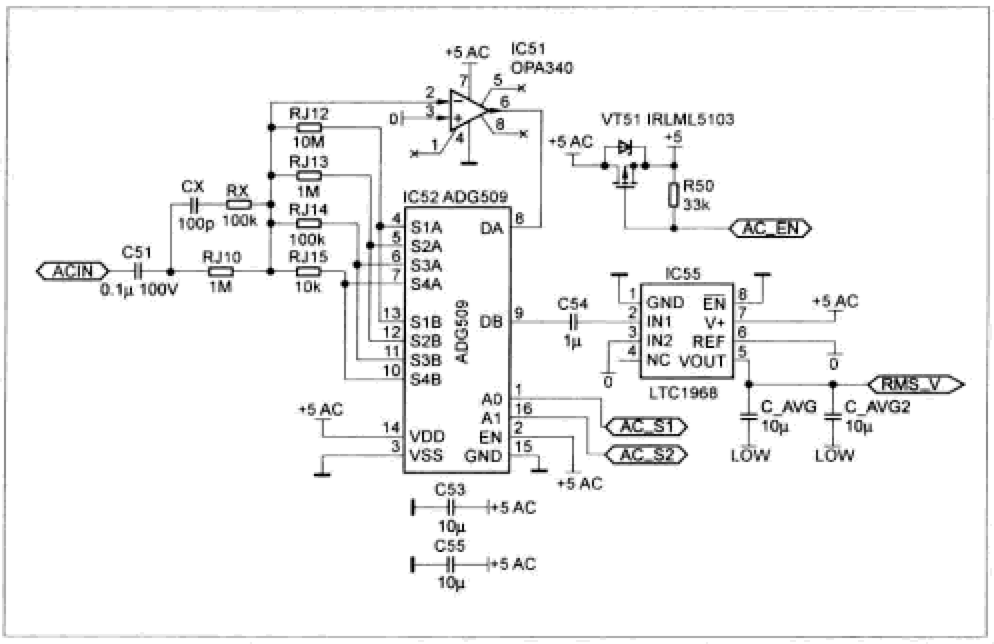
电流源运放采用低偏置电流精密运放AD706，其中前半部分和N-JFET起到参考电压缩放－转移的作用，将2.5V的基准转换成比标准电阻公共端低1V，输入到后半部分的正输入端，模拟开关用于选择4个标准电阻（开尔文接法），P-JFET受运放控制，保持标准电阻两端的电压为1V，高反压PNP管BTA94与1N4007组成保护电路。这里的3.3V稳压管使得运放的输出能足够使P-JFET截止。

7. 真有效值交流部分

交流输入先通过0.22μF的电容隔离掉直流分量，再进入由 OPA350构成的反相放大器，通过ADG409选择不同的反馈电阻，构成×1、×0.1、×0.01、×0.001倍的程控放大器，这样可以使对应量程转化为 0.1Vrms的信号。考虑到最大可能的波峰系数，也就是不超过1Vp-p的输出电压，然后再经过一级隔离，输入到LTC1968进行真有效值转换，其输出经过2个10μF的X7R陶瓷电容滤波后，输入到直流放大器的输入复选开关。这里采用 OPA350主要考虑到它可以工作在5V的电压下、高输入阻抗、高带宽（35MHz）的特性，LTC1968 是新一代ΣΔ真有效值转换器，具有很高的线性度，并且可以在



欧姆电流源电路



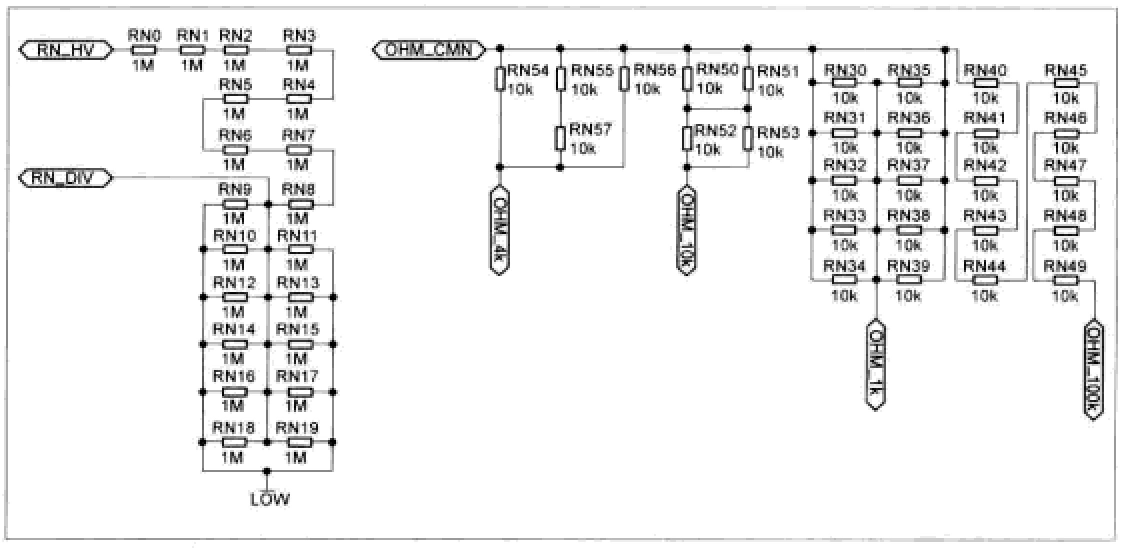
真有效值交流电路

5V的低电压下工作。

8. 电流－电压转换器

由于我采用的VC70A的外壳只有4个输入端子，所以只能将电流输入与LS复用，在电流测量状态下，输入先经过“500mA 熔断器+全桥”的保护，然后在1Ω的采样电阻上形成压降，送入后续的测量电路。此外，为了减少误差，保护全桥的中点电位被运放提升至输入的电平。

注：由于采购原因，文中部分元件型号参数与电路图标注有一定差异。



用于输入分压、放大、欧姆电流源的电阻网络

软件设计

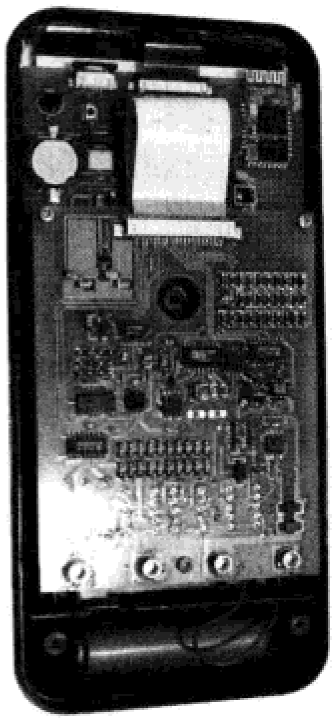
相对硬件结构而言，软件的设计工作更加复杂，需要将各层分开实现，以便比较好地进行开发和测试。最底层是模拟抽象层，这一层要完成基本的测量功能，这包括针对各量程继电器和模拟开关的切换、ADC控制等，这部分相对底层，需要仔细阅读ADC的控制时序。

再上层是测量层，负责处理数字滤波器、偏置补偿、斜率校准，自动量程转换，以及四线电阻、三线四线PT100和热电偶的处理。数字滤波采用滑动滤波和简单平均两种方式，这样就可以将噪声特性较差的 0.1V 和10V量程降低到1μV左右（当然这样损失了采样速度）；偏置补偿用于将当前的读数作为基数，从以后的测量结果中减去，可以用于补偿电阻测量中的引线误差；斜率校准用于将校准数据乘上当前的读数，以便校准满量程；对于四线电阻、三线四线PT100，热电偶在测量过程中需要切换模拟开关，结果需要一些处理才行，所以也在这一层实现。应用层主要处理按键和界面操作以及存盘和通信处理，另外电源管理和测量的主循环也在其中。由于系统的复杂程度不高，所以没用实时操作系统，直接是一个测量循环，需要及时响应的只有按键和串口数据的接收，把它们放在中断中处理就行了。

机械结构和人机交互

1. 外壳的选择

为这个问题，我纠结了很久，外壳就像房子，虽不是人生的核心，但是没有了还真是比较尴尬。外观不体面也就罢，重要的安全性也成了问题，而且对于个人DIY，外壳还是颇有难度的。我最初的设计版本是没有外壳的，长期使用会导致OLED连线破坏，损坏率颇高，后来用薄膜开关配合铝板做了个第二版，虽然好了些，但是铝板能导电，安全就成了问题，而且对蓝牙通信会产生屏蔽效果，大大降低了通信距离。此外，薄膜开关不耐久，



安装好的内部电路

时间长了会因内部的导电层脱落、塑料老化而损坏。后来偶然间发现了VC70A的外壳很合适，主要是大小合适，没有拨盘，有类似方向键的按钮布局，在靠近输入端子的部分隆起，可以放置继电器，于是决定自己做“芯”，“寄生”在这个表壳里（这样说绝无冒犯之意，相反的，从一个侧面说明了这款表壳设计得相当成功，此外这个外壳的设计还用于该公司的多款校准仪）。

2. 改造过程

首先要解决的是少一个端子的问题，原来的外壳只有4个端子，所以在电路设计上得将电流挡和其中一个复用。综合考虑后，我觉得还是LS比较合适，因为它临近LO端子，又不像HI端子那样容易引起误操作（复用HI和AMP很危险，因为不用手工换线，用户可能会误用电流挡测电压）。

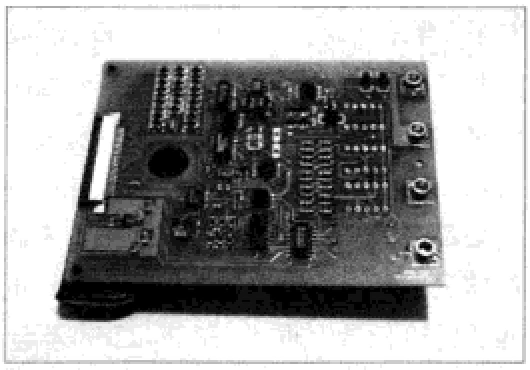
其次是按键的改造。由于表芯是模拟、数字分开的双板结构，其中数字板靠近正面，模拟板在后面偏下方（空出来的数字板空间将来可以安装扩展组件）。数字板的下半部构成按键，取代了原来硅胶键盘挡板的位置，这样原来的按钮就显得过长了，需要截断。正所谓“欲练神功，必先自宫”，截断后由于没有了导电层，所以就不能用叉指开关了，做PCB的时候需要精确测量原来按钮的位置，在原地安装超薄的微动开关。同样，原来设计的电源开关也得换成更小的非锁定型号，并且适当地磨掉一部分按钮才行。由于VC70A原来的外壳有倒角设计，128×64LCD的角会碰到外壳，所以也要适当磨掉一点。经过一番折腾，表芯终于装进了外壳。

最后是根据原有的按键设计操作界面，由于能利用的按钮不多，所以得设计成菜单方式，原来排成十字的4个按钮就是方向键，上面的两个就是 MENU 和 OK，MENU用于唤出菜单，OK用来确认选项，剩下的3个按钮分配给必须实时操作的功能，CAPTURE 用于捕获当前值作为偏置补偿，RELEASE 将偏置补偿清零，AUTORANGE 用于切换是否开启自动量程转换。

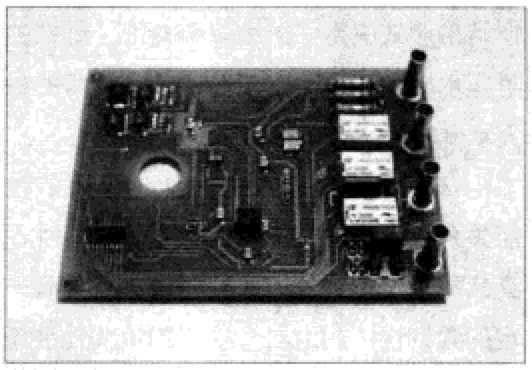
此外，人机交互部分还包括蓝牙远程连接后与PC通信的各种指令，由于比较繁琐就不在这里赘述了。

后记

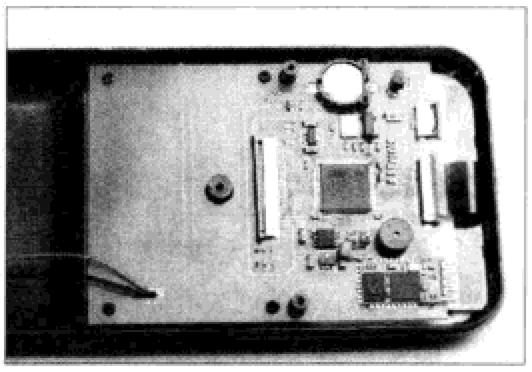
通过这个实践项目，笔者获得了很多宝贵的知识和经验，从基准群的朋友们哪里学到了很多知识，尤其衷心感谢张老师的设计指导以及后期完成的大量繁琐的测试工作。希望本文能对广大爱好者有所助益。



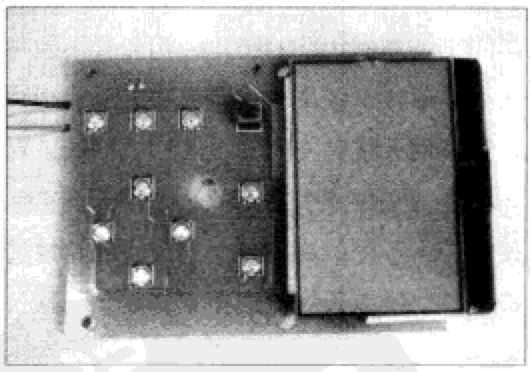
模拟板反面



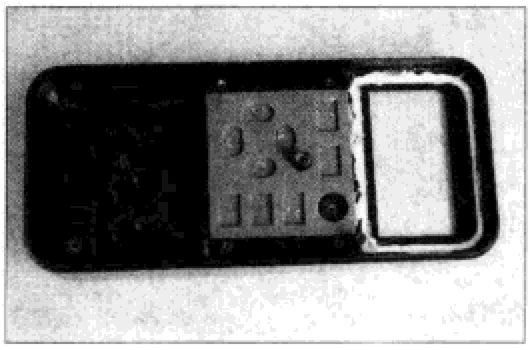
模拟板背面



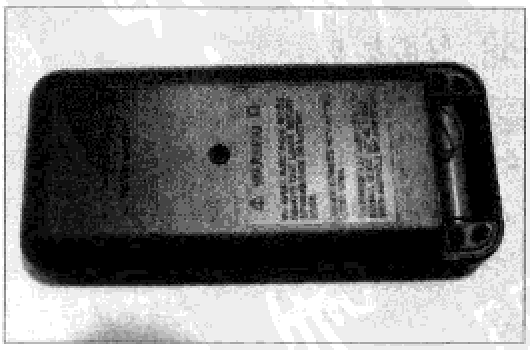
数字板反面



数字板背面



按键及外壳改造



顺利安装好外壳背板

漫谈天线性能测试

◎杨法

天线的工作频率、带宽、增益、波瓣特性、最大承受功率是用户最关心的五大射频性能指标，天线的抗风、抗振、耐腐蚀性、抗冲击力是产品重要的物理性能指标。天线的电气结构形式决定了天线的基本射频特性，天线的物理结构和使用材料的特性决定了天线的物理特性。

以常见的玻璃钢垂直天线为例，其内部电气结构与天线的射频性能密切相关，每一单元振子的尺寸决定了天线的工作频率，阵列单元数量决定了天线的增益，阵列结构与实现方法决定了带宽，整体结构形式决定了天线波瓣特性，部件的耐压水平和连接固定工艺决定了天线的最大承受功率。

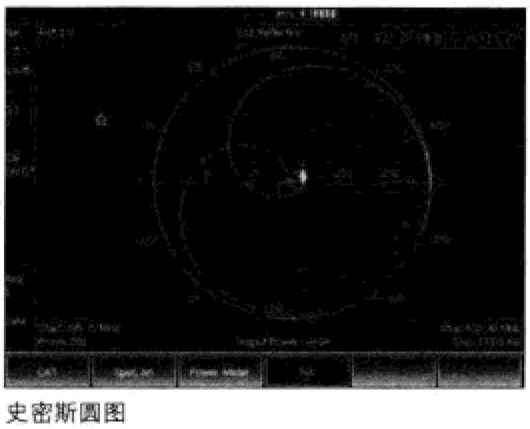
玻璃钢天线采用的玻璃钢外罩的性能关系到天线的抗风性能和耐腐蚀特性，高品质的玻璃钢外罩厚度适中，且具有一定的柔韧性，同时具有很好的抗紫外线老化特性。一些超长天线采用两节或三节拼装结构的玻璃钢天线，其连接接口的性能同样关系到天线的整体结构强度。虽然天线的形式、结构决定了天线的基本射频特性，但天线制作时的工艺和后期调试对天线的射频性能有很大的影响，而且实际使用中，不同的环境也会对天线的特性造成影响，所以天线制造厂家、安装工程公司、通信维护部门、最终用户都对天线测试有一定的需求。

不一样的射频电路

说到电路测试，很多电子爱好者都会首先想到万用表，可惜万用表在天线测试中作用并不大。万用表主要适合直流电路和低频交流电流的测量，对于射频领域的天线测量无能为力。在天线测量中，万用表的欧姆电阻测量功能只能用于直流通路的测量，主要用来判断有些连接接头部位是否有断路的问题。有的无线电爱好者曾惊奇地发现，用万用表测量自己的天线接口芯线和外壳竟然是“短路”直通的，又或是接口内芯线与天线振子电阻很大，几乎“断路”，还以为天线有故障了，其实并不尽然。有些天线内部有线圈匹配线路，这些线路对直流信号呈“短路”表现，实际工作时输入射频信号就不会“短路”了。有些芯线与天线振子不通的情况是因为天线内部有电容结构，电容的特性就是“通交流阻直流”，实际工作时射频信号都能顺利通过。由此看来，用万用表来判断天线故障最好先熟悉天线的结构，或者找一条同样型号的正常天线作为参照。

天线的驻波测试

测量驻波是测试天线射频性能中最基本且最容易实现的测试项目。用驻波比表测量天线的驻波特性比用万用表测量通断实用得多。驻波比测试是测量传输线中正向功率与反向功率的比值，驻波测试的本质是反映天线系统的传输匹配情况。一般的通信发射机输出端口阻抗为50Ω（电视系统为75Ω），与之配套设计的天线在工作频段的阻抗也应该是50Ω。按照传输线理论，当阻抗匹配时传输损耗是最小的，而且在匹配良好的情况下，反射能量也是最小的，这对射频功率放大器器件的安全工作也至关重要。驻波对天线的频率特性和故障十分敏感，当工作频率偏离天线设计范围，或者天线出现接触不良、振子断裂、物理损坏等故障时，驻波数值都将显著升高。利用驻波的这一特性，通过测量天线的驻波比，可以了解天馈系统在特定频率下的匹配情况，同时还能判断天线是否出现故障。通过测量连续变化的频率对应的天线驻波变化曲线，可以了解天线实际工作频率带宽。由此，测量天线驻波成为天线安装和维护中最常见、最实用的测试项目。



史密斯圆图

天线的驻波测试可分在线测试和离线测试两种类型：在线测试是将驻波比表串联接入天馈系统，利用发射机产生的功率信号测量天馈系统真实的驻波情况。离线测试是断开发射机，用天线分析仪或驻波分析仪直接对天线进行驻波和阻抗测试。

两种测试方法各有优缺点。在线测试常用的仪器是驻波比表，普通的驻波比

表价格相对比较便宜，操作也非常简单，在线测试可信度高，不易受外界因素干扰。驻波比表都需要借助发射机提供一定功率的测试信号，而且一般驻波比表只能测量稳定连续功率信号下的驻波状况，遇到TDMA（时分多址）和SSB（单边带）这类不连续或幅度不稳定的信号就无能为力了，遇到发射机输出功率过小或者过大，也会出现无法使用驻波比表测量的尴尬。现代数字化通信中，TDMA体制的信号使用得越来越多，诸如常见的GSM、TETRA、IDEN、MOTOTRBO都是时分多址类的非连续信号。很多商用发射机发射频率是预制固定的，不方便连续可调，这也使得在线测试的频率点受到限制，一般只能测试当前信道的驻波状况。

离线测试常用的仪器有驻波分析仪、天线分析仪、扫频仪、网络分析仪等。离线测试仪器往往提供的测试项目更为丰富，除了特定频点的驻波比测量外，还能测试天线的阻抗以及扫描一段连续频率区间的驻波变化情况，形成驻波曲线图，高端的设备甚至还能显示史密斯圆图。离线测试不需要发射机支持，测试信号由测试仪器自身的信号源产生，所以不受发射机类型和制式以及输出功率大小的影响。测试仪器的工作频率连续可调，方便对不同频率进行快速测量。很多测试仪器被设计成便携型外形，大小类似两台并排放置的大号对讲机或平板电脑，并内置有可充电电池。这样用户在现场就能直接完成对天线的快速测试，不受供电和发射机的限制。专业天线分析仪之类仪器虽然功能多，使用方便，但价格却相当昂贵，一般只适用于专业应用。

常见天线测试仪

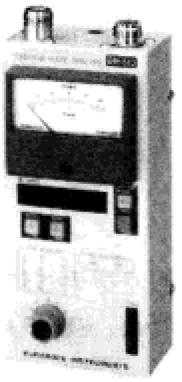
驻波比表是最常用的驻波在线测试仪器。使用驻波比表需要将仪器以串联形式接入天馈系统中，可以直接读取驻波数据，不像有些通过式功率计，需要分别手动测量正向功率和反向功率，再通过查表或计算才能得到驻波比数值。很多驻波比表还具有功率测量功能，在其天线连接端口接上匹配负载（假负载）就成了一台功率计。基本型的驻波比表电路结构简单，操作方便，价格不高，广受基础用户欢迎。市场上驻波比表的显示界面有多种形式，常见的有单指针表头、双指针表头、数字显示等。虽然不同品牌型号的驻波比表显示方法和操作可能有所不同，但其核心射频部件都是定向耦合器，用来测定传输线中的正向和反向功率。

驻波分析仪是一种测试功能相对单一的天线测量仪器。正如其名，驻波分析仪最主要的功能就是离线测量天线的驻波，实际产品中往往还会附加阻抗测试等功能。驻波分析仪相当于连续可调的信号源+驻波比表，优点是可以快速测量天线各频率点的驻波情况，且可以方便地调节测试频率，便于在一定范围内快速手工搜寻天线最小驻波对应的频率点。驻波分析仪功能简单，操作方便，体积小巧，价格也相对低廉，所以深受天线安装和专业维护人员以及业余电台爱好者的喜爱，市场拥有量较大。由于驻波分析仪提供了基本的天线测试功能，所以很多用户习惯上也把它称为天线分析仪。

扫频仪是一种用于测量频幅特性的传统仪器，通过驻波电桥可以测试天线的能量反射情况。其实，用扫频仪来测量天线只是它的一种扩展应用。使用扫频仪测量天线的优势，在于方便高效地看到一个频率区段内天线的反射能量图示曲线，从而判断天线的谐振点和带宽。很多扫频仪并不能精确地直接显示天线特定频点的驻波比数值，但不影响其显示天线整体的频率特性。因此，扫频仪成为很多天线生产小厂和作坊的基本配置仪器。此外，频谱仪也能像扫频仪一样显示天线反射能量曲线，不过需要频谱仪配备跟踪源，并使用驻波电桥才能进行测量。

网络分析仪是射频网络测量的综合性仪器，也是测量天线的最佳工具之一。网络分析仪分为标量网络分析仪和矢量网络分析仪。网络分析仪可以对天线进行多种参数的测量，用网络分析仪测量天线只是其诸多应用之一。通过网络分析仪可以精密地显示天线在频率区段内的驻波变化曲线，还能够进行阻抗测量和显示史密斯圆图。网络分析仪在测量精度和测量功能项目上都具有明显的优势，只是仪器价格昂贵，只有大天线厂和专业机构才会考虑配置，同时高精度网络分析仪体积大，质量重，只能在实验室固定使用。

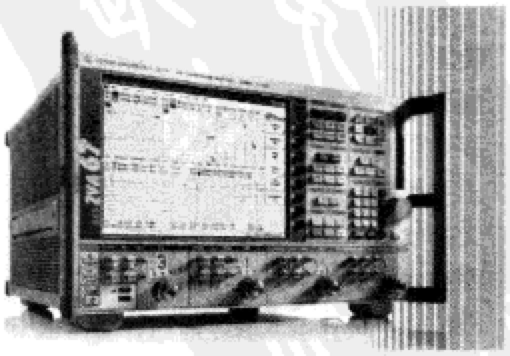
天线分析仪是专为测量天线所设计的仪器。天线分析仪属于离线测试仪器，按照产品档次的不同，配置的功能和实现电路构架也所有不同。入门级的天线分析仪提供最基本的连续频率可调VFO和驻波、阻抗测量功能，其实就是前面提到的



驻波分析仪

天线分析仪

驻波比表



网络分析仪

驻波分析仪。中档的产品引入了以单片机为核心的数字化控制和可用于显示图形的大面积点阵液晶显示屏，内部VFO电路也由压控振荡器升级为频率合成器，在提高了信号发生器频率稳定性和分辨率的基础上，增加了显示频率区段内驻波变化曲线等新功能，相当于结合了扫频仪的天线测试功能，使用户能直观地观察到天线匹配情况。高档的天线分析仪进化为全电脑化、全数字化，就像是一部为测量天线简化了的网络分析仪，具备诸多专业测量功能和扩展功能。有的高端天线分析仪还集成有电缆分析、频谱分析、场强分析等功能。

上述各种仪器主要都是基于天线反射能量和驻波的测试，不过驻波只能反映传输线的匹配状况，并不能反映天线的发射效率和增益，进一步测量天线的发射增益需要使用到场强仪或测试接收机。原理上，低驻波的天线并不等同于高效的天线，但高驻波的天线不会是高效的天线。通常，发射天线驻波比小于2:1就能正常工作，低于1.5:1就是比较理想的情况，不必苛求SWR=1:1，实际上即使在实验室也很难做到真正的SWR=1:1。此外，接收用途的天线对驻波比的要求并不是很严格。

天线增益的测量

天线的增益是标志天线性能的重要指标。天线是一种换能器，理论上天线辐射出的能量越强，信号就能传播到越远的地方。要提升天线的辐射强度有两个途径，一种是加大输入功率，一种是利用天线自身的特性即天线的增益。普通的发射天线都是无源形式，根据能量守恒定律不可能凭空产生能量，所以天线的增益实际上是通过将其他方向上的辐射能量集中到一个方向或平面上，在特定方向上提高辐射强度。不同结构的天线具有不同的理论增益，实际天线制作中，很多细节都会影响天线的实际增益，可能两条外形相同的天线却具有不同的增益，天线的实际增益要靠测量实验来验证。

测量天线增益的方法有很多，其中“比较法”操作直观且容易实现。这种方法采用与标准天线或者已知增益的参考天线进行对比，从而得出被测天线的增益。常用的比较法测量有两种具体方法，分别为相对功率法和相对场强法。使用相对功率法要求参考信号源功率连续可调或者连

TIPS

场强的单位是dBμV/m，有的场强仪也有采用dBm或dBμV单位显示。dBm是功率单位，dBμV是电平单位，三者之间可以通过公式换算。大部分现代场强仪都可以选择不同的单位显示。

TIPS

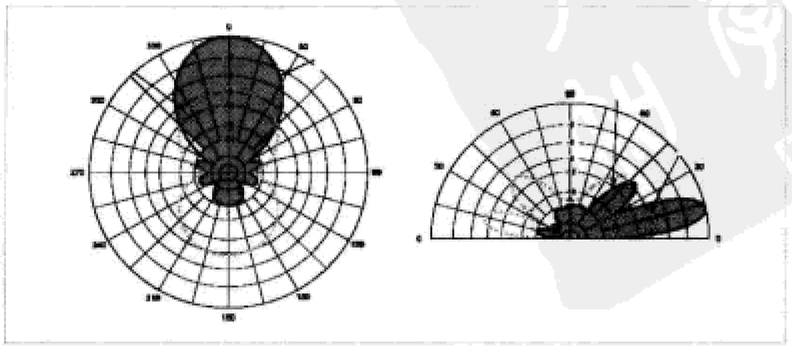
如何看懂天线方向图

通常所说的天线方向图是指天线辐射方向图，这是用途最为广泛的方向图，它揭示了天线波瓣和方向性等用户最关心的信息，此外，还有相位方向图和极化方向图等。理想的全面的天线方向图是空间立体3D图形，但实际测量和绘制为了方便，多采用2D平面的水平面方向图和垂直面方向图来表示天线的辐射特性，有的也采用与场矢量相平行的两个平面来表示，即E平面方向图和H平面方向图。

天线方向图通常采用极坐标绘制，具有形象、直观的优点，尤其对于方向性强的天线优势更为明显。天线方向图也可以用直角坐标绘制，但由于不具备极坐标的直观性优点，所以很少用到。在天线方向图中，图形边缘离开中心原点越远，说明该方向上辐射的能量越强。平滑曲线构成的能量分布区域称为波瓣，由于外形类似植物鲜花的花瓣故有“波瓣”的称谓。通过极坐标波瓣图，我们可以很直观地了解天线的方向性，每个波瓣代表天线辐射的一个方向。有的天线是全向的（波瓣会不明显），有的天线是单方向的，有的天线是8字形双向的，有的天线在不同方向上可能会有多个波瓣，甚至是不规则的。一般将设计主通信方向上的波瓣称为主波瓣，其他方向上则称为副波瓣，通常主波瓣要明显大于副波瓣。由于副波瓣同样要辐射一部分能量，理想的天线最好不存在副波瓣，能量全部都集中到主波瓣上。对于定向天线来说，副波瓣不但浪费能量，而且可能在非通信方向上造成干扰。波瓣的分布是天线的固有的特性，要改变和抑制波瓣的分布和宽度，需要改变天线的物理结构或类型。研发天线尤其是定向性天线，对波瓣的研究成为与增益并重的课题。

波瓣的宽度是指波瓣在辐射平面内分布区域的范围。由此引入了半功率角的概念，即在主波瓣最大辐射方向平面上，把相对最大辐射功率通量密度下降到一半处的两个位置点，与圆心构成的夹角。天线波瓣的宽度越窄，指向性（方向性）越尖锐。在极化坐标天线方向图上，波瓣的宽度和方向特性可以很形象地以图形的方式表现出来。

前后比是指定向天线设计辐射方向前后功率通量密度或者场强的比值。前后比越高，说明天线后部的副波瓣越小，天线的方向性更好。



接精密可调衰减器，基本原理是调节信号源输出不同的激励功率，使被测天线与标准参考天线达到同样的辐射场强，然后通过输入功率的差值计算天线的相对增益。相对场强法只要求一个稳定输出的信号源（简易条件下甚至可以用一个车载电台等实际发射机代替），基本原理是分别直接测量在同等激励功率下被测天线与标准参考天线的实际辐射场强，然后通过测得场强的差值计算天线的增益。对于只能接收的天线则与场强仪连接，对比与标准参考天线接收同一个信号源的强度差异。相对功率法和相对场强法需要的核心测量仪器是场强仪、标准参考天线和信号源。由于相对场强法对信号源的要求低（不要求功率连续可调），也符合天线增益高、发射场强大的传统思维模式，所以实际操作中工程师们更多的喜欢采用相对场强法测试。

场强仪是用来测量空间一点电磁波辐射场强的仪器，实质上是测量空间某点位置上天线耦合到的电压。场强仪在天线增益测试中作为参考点场强监测之用，或者用来测量从天线上耦合到的电平。一般测量天线所用的场强仪首选是选频场强仪，它可以测量对应具体频率在特定位置上的场强，具有抗干扰性好的优点。选频场强仪实质上是一部具有输入端口电平测量功能的接收机，有些产品还具有常规调制的解调功能，也被称为测量接收机。现代测试接收机基于频谱仪基础，更适合EMI测试的需要。此外，普通的数字频谱仪因为具有信号幅度测量功能，也可以代替场强仪作为场强测量之用。场强仪和测量接收机都需要配合天线进行测量，在测量场强绝对值时对测量天线有较高的要求，需要使用专用的测量天线。

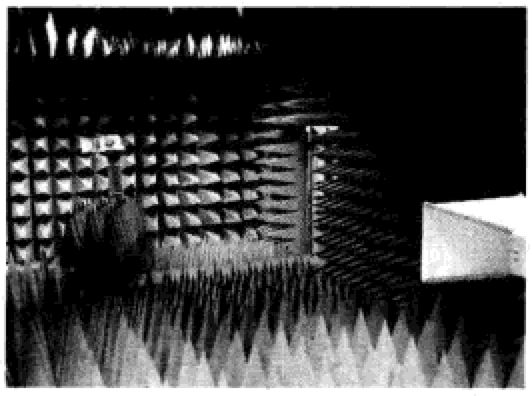
测试天线在发射增益时接收天线应该置于被测天线理论最大辐射方向上，场强仪配用天线的极化方式最好与被测天线相同。一般超短波天线测量推荐使用工作频率很宽的对数周期天线，频率很高的微波测量则可采用喇叭口天线。

天线方向图的测量

天线方向图测量可以揭示天线的方向性和波瓣特性，对于八木天线之类的指向性天线还能了解其最大辐射方向、前后比、主瓣半功率波瓣宽度、1/10功率波瓣宽度、副波瓣等特性。天线方向图的测量射频设备与测量增益的差不多，天线方向图测量实质上也是通过测量天线各个方位的增益表现来形成的。天线方向图测试中会用到天线转台，通过转台可以使天线绕其相位中心360° 水平转动和一定角度的俯仰运动，方便配合固定位置参考信号发射源和测试接收机记录被测天线在不同相对位置接收电平的变化情况再结合计算机自动处理软件绘制出天线的实际方向图。大部分天线的方向波瓣特性都具有收发互易性，所以被测天线测试作为发射天线或接收天线测量结果是基本相同的。现代天线方向图为三维空间图像虽然直观但绘制复杂，通常为了简化有用E面和H面或水平面和垂直面的平面图来表示。

天线的测量环境

天线测量为了减少外部干扰因素引入的误差对测试条件和测试环境都有一定的要求。首先，信号源与被测天线和标准参考天线都要有良好的匹配，驻波SWR<1.2这样能确保激励功率尽量多的


电波暗室

传输到天线上。对于手持对讲机天线和车载天线，测量时应模仿其实际使用环境，手持天线应该考虑人体对其的实际影响，车载天线应该考虑金属车顶对其的影响，这样才能反映天线的真实性能，同时也容易控制测试中的驻波比。其次，确保无同频干扰源，同时测试周边环境要求宽阔无遮挡，尽量不要引起电波反射，一般大型操场、绿地、开阔地都是可以选择的地方。人体也会影响天线的辐射特性，所以测试时工作人员也最好远离测试现场。再次，有条件的情况下测试尽量拉开发射和接收点的距离，远场测试的数据更贴近实际值。

天线测试理想的环境是在电波暗室内进行。电波暗室简单地说，是对外隔绝，对内无电波反射的空间。专为测试天线设计的暗室是模拟理想的自由空间电磁环境，特性要求与为电磁兼容测试设计的暗室不尽相同。理论上，天线测试暗室各个方向都要求无电磁波反射，实际上其静区特性、驻波特性、墙面对电波的反射率都有一定的要求。天线测试暗室主要靠室内所有的墙面（包括四周墙壁和房顶以及地面）上的各种吸波材料和科学设计最大程度地减少电波的反射。为了尽量减少干扰，测试转台、信号线、电源线、视频监控设备线路等都要做特殊的处理。限于建筑的尺寸和造价成本，大多数天线测试暗室都是为测量微波天线或者100MHz以上天线设计的，所以一般短波天线的测试大多还是找户外开阔场地测量。

TIPS

标识天线增益常见的有两种单位dBd和dBi。这两种单位都是相对值，只是参考基准不同。dBi基准参考天线为理想点源全向天线，而dBd基准参考天线为半波偶极天线。理论上半波偶极天线的增益较理想点源全向天线高2.15dB（1.64倍），即dBi=dBd+2.15、0dBd=2.15dBi。例如，一副3dBd增益的天线，如果用dBi作为单位，就能标为5.15dBi。

晒晒我的工作室/实验室

◎温正伟

分享与交流
——制作的乐趣所在

对于普通业余爱好者来说，工作室，无论它是专业的，还是业余级别的，并不重要，重要的是它能不能给我们带来制作的快乐。

在我看来，拥有一间设备先进、零件齐全的电子工作室是作为一名无线电或电子制作爱好者的梦想和追求，这样的工作室更是专业人员的理想工作场所。同样，我从小也有着这样一个梦想，拥有一间堆放着各种各样齐全的零件和随手可用的先进仪器设备，并能随时得到最新资讯，而且还要能堆放各式作品的电子工作室。梦想和现实总有这样那样的差距，这样的工作室对我和绝大数爱好者来说，目前还只会出现在科技电影之中。让我把镜头拉回到现实，和大家分享一下我的小小工作室吧，麻雀虽小，五脏俱全。

作为DIY爱好者网站“磁动力”的创始人，我在网络上认识了许多的朋友，也见识了不少朋友的工作室，有十分专业的作坊型，也有居家SOHO型，也有只有几样工具的业余型。而我自己的工作室算是在家工作的SOHO型，主要工作项目是软件的编写，电子小制作，有时也会给《无线电》杂志写写文稿。因为是在家工作，所以多少会注重居家的舒适性和娱乐性，这小小的空间不单单是我工作的地方，更是我和家人实现兴趣爱好和进行娱乐的场所。

图2 这就是我工作和战斗的地方，虽然小了点，但是还是很像模像样的吧

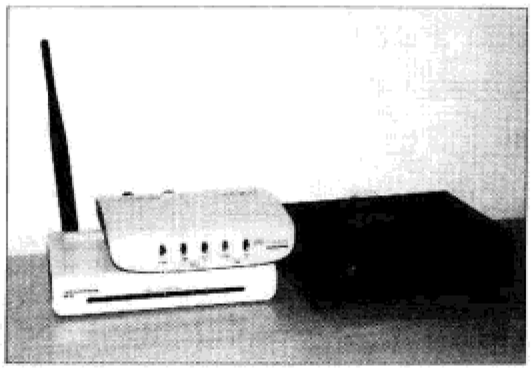


图1 我的无线路由器，别看简单，功能很强大的哦

作为一个程序编写者，网络是不可缺少的，一台带无线功能的路由器就可以满足工作室的所有网络需求。有线RJ45网络接口可以连接各种网络设备，如NAS网络存储设备、网络打印机、台式电脑、网络摄像头等。无线网络则可以为手机、平板电脑、笔记本电脑等提供方便的网络连接。不过在使用无线网络时，可要注意设置好路由器的安全选项哦。除此之外我还添置了一台网络高清播放机，增加了网络的娱乐功能，家人也可以方便地在液晶电视上分享到网络的娱乐性。

国内城市的居住空间一般都不大，家中最小的房间被我当成了工作室使用，$8m^2$左右，现在只使用到它一半的空间，只能放一些简单小巧的工具和家具。我的职业是以软件编写为主，所以电脑当然是我主要的工作设备，一台台式电脑和一台笔记本电脑以及一台打印机是SOHO必不可少的工具，这样的配备也基本能满足工作需求了。可活动式台灯能为晚上的工作

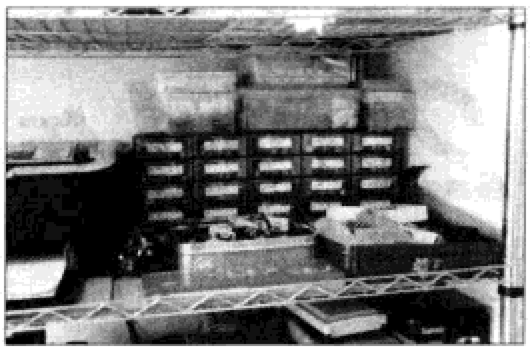


图3 这就是我存放电子元件的地方，是不是很井然有序

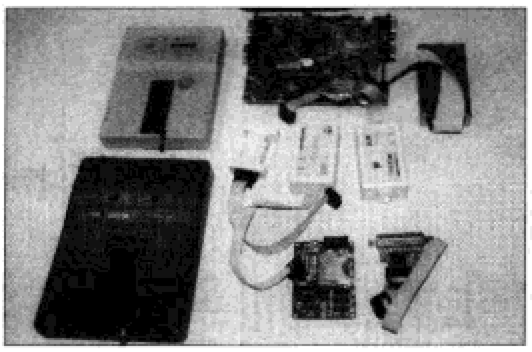


图4 这是我在工作室里完成的半成品，是不是很像那么回事儿

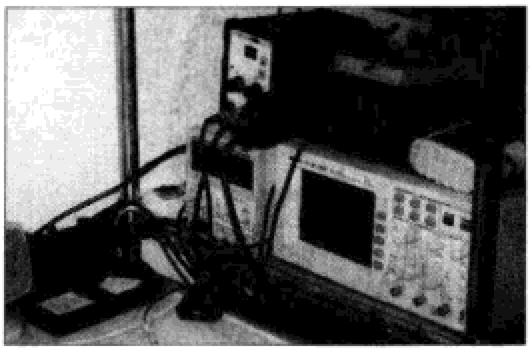


图5 别看工作室小，设备还是很全的

提供合适的照明，一套小型有源音箱带来音乐，缓解工作的压力。个人不满意的地方就是工作台面太小，空间也没有充分合理使用，这样的不足会在制作电子电路时充分暴露出来，还需要不断改进。

除了电脑软件编写以外，制作电子电路或开发单片机程序也是我的另一部分“工作”，所以各种常用的电子元件和工具是必备之物。电子元件用盒子分门别类放好，需要时可以很方便地寻找到。贴片的元件十分细小，我喜欢把它们装在专用的贴片元件盒内，并贴上相应的标签。

各种单片机烧录调试工具是作为单片机爱好者必不可少的工具。我使用的工具仪器几乎都是国产的，电源、焊台、示波器、万用表等，只要性能满足到自己的需求，国产品牌的性价比也是相当高的。选购自己最需要的工具，而不要盲目相信商家的广告，会让你减少闲置工具，避免不必要的投资，当然仪表发烧友除外。

对工作室的定期收拾和整理是必不可少的，干净整洁的工作环境也会让人在工作时感觉到愉快。就在这个简简单单的工作室里，我除了完成自己的工作项目外，还完成了一些业余的电子爱好的制作，有些作品也在《无线电》杂志上进行过发表，比如《打造超级PC遥控器》、《红外遥控专题》等文章，这些内容得到了不少电子爱好者的支持，同时也在我的个人论坛上引来了大量的相关讨论。我还发表了关于电脑接口的系列文章，从串行口到IDE接口，都使用实例制作来进行介绍，也让感兴趣的读者有所受益。我有一篇以自己的学习杂记改编的《C51教程》发表于我的个人网站，并整理发表于相关报刊，此文章在我的个人网站中累计有近十万的下载量，同时还被大量的单片机网站转载。这些文字作品及实例作品，都是在这小小的工作室完成的。

我的制作大多与我在生活、工作中需要用到的实用电路有关，我关注创意，更关注创意制作的实用性。就如2010年在杂志上发表的《DIY多头灯具分段控制器》，介绍的制作就是改装家里的灯具，那个电路仍然每天都在我家中使用。对于普通业余爱好者来说，工作室，无论它是专业的，还是业余级别的，并不重要，重要的是它能不能给我们带来制作的快乐。

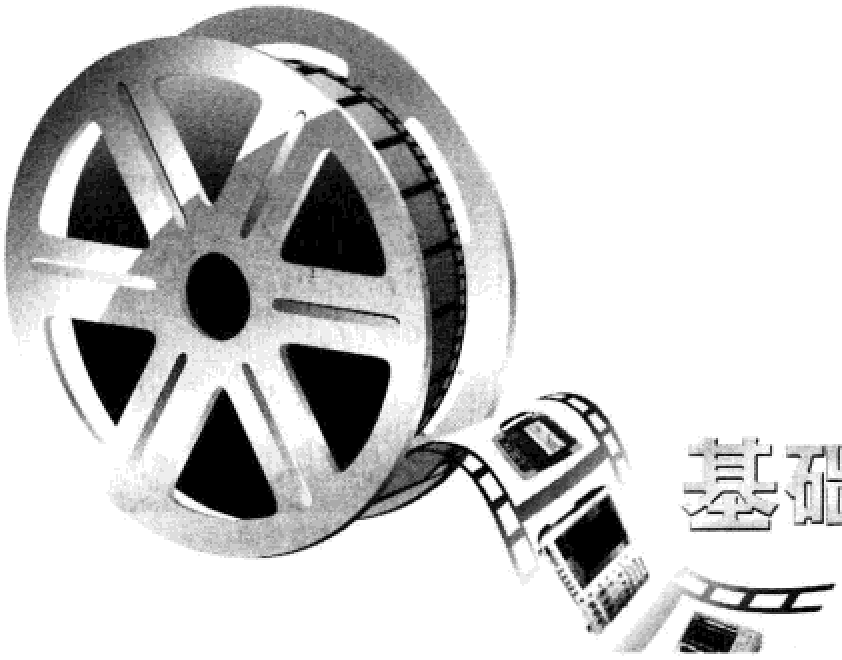
做为一个小型个人网站的管理者，www.cdle.net/bbs网站论坛也算是我的一个虚拟工作室，同样需要去关注和打理。凭着自己对动手制作的热爱，我在2001年始建磁动力网站，最开始也就是把自己的制作作品或是文章放在上面给朋友们分享，后来建立了论坛，从51单片机开始了讨论，在当时也算是学习单片机的好去处，后来又开了遥控版块，到了2006年，开办了雕刻机制作版块，也算是国内最早的DIY雕刻机讨论区。

由于众多网友的支持，大家喜欢把自己的作品秀在这个论坛上，有好经验、好主意也会在上面分享，遇到制作中的困惑时也会在上面提问，也会在元件、材料供应方面互通有无，不少同地域的朋友也在现实中变成了好友，一起参与到兴趣爱好活动中，更有朋友把他对雕刻机的爱好变成了职业。正因为众多热心网友多年来不断支持和参与，这个名叫“磁动力”的网站在一定程度上推动着国内雕刻机DIY技术的进程，也引出了不少关于雕刻机DIY的网站。

最近，我觉得环保能源是以后讨论的方向，如何获取绿色清洁的能源已值得我们大家去关注了，希望能有更多的爱好者积极参与讨论。

分享和交流是我创办网站的出发点，虽然这个虚拟的工作室并没带来财富，但正因为分享和交流，给我和众多朋友带来快乐，这也许也是我对爱好乐趣所在的最好理解吧。

图6 我的工作室虽然很小，但是为我带来了不少的乐趣，也欢迎有兴趣的朋友来参观一下啊



2011年基础测量仪器市场大盘点

◎杨法

在即将过去的2011年，国内仪器市场涌现了不少新产品。可喜的是，我们在市场上看到越来越多的国产品牌的仪器，很多民营企业的仪器产品摆脱老式仪器呆板笨重的形象，大胆采用国际流行的设计理念，很多产品的外形设计可以与国外品牌一比高下。越来越多的高科技公司开始涉足万用表、示波器、频谱仪、信号源、电源等常用基础仪器的设计与生产，国内一些领军企业已经不满足生产入门级产品，开始向中高档仪器进发。

在入门级仪器市场，国货凭借优异的性价比从洋仪器手中抢回越来越大的份额，并保持逐年扩大的趋势。同时民营企业的仪器产品不断走出国门，进入国外市场，一些民营仪器制造企业的实力为外国同行所认可，开始为国外知名品牌提供OEM。中小公司的开发工作室和教育单位的实验室中出现了越来越多的国产仪器的身影。面对国货仪器如潮的攻势，很多国际大牌仪器改变产品结构和销售策略，调整入门级产品的价格，不断推出新型号产品，提升仪器的技术含量，同时保持自己在中高档仪器市场的技术和品牌优势。接下去就让我们回顾一下2011年基础测量仪器的市场动态。

万用表

万用表是电子测量市场最基础也是销量最大的仪器。在数字化的时代，机械指针万用表逐渐被边缘化，数字万用表无论从价格层面、易操作性，还是测量性能，都完胜机械指针表，现在很多新一代的电子爱好者已经对指针万用表感到陌生。手持数字万用表成为市场的主流产品，产品价格跨度很大，廉价产品价格可以低至十几元，进口高端产品可高达四五千元，充分满足不同层次用户的需要。数字万用表厂家从一开始的致力于提高产品显示数字的位数逐步向产品的多功能、多元化方向发展。在高端应用产品中，一些万用表开始集成示波器的功能，增强产品在交流信号测量方面的能力。

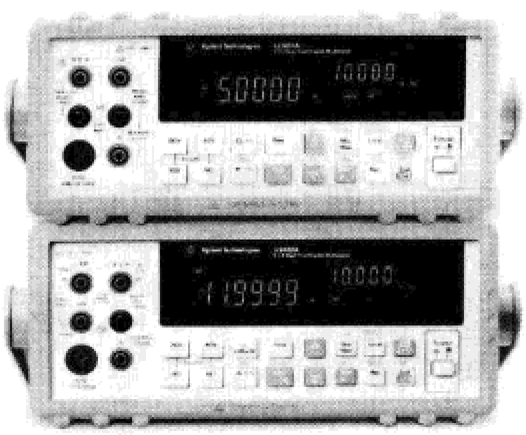
在手持数字万用表市场上，美国FLUKE（福禄克）依然保持了“老大”的地位。它的高端系列完成了由新旗舰287/289取代上一代187/189产品的任务，新产品主要增强了记录和处理功能，可将记录数据直接转化为图形方式，显示在万用表屏幕上。为了配合图形显示，新一代万用表采用了点阵液晶屏，取代传统预置笔画液晶屏。在中档产品中，福禄克推出了F28 II万用表，其最大的亮点是具有IP67防尘、防水防护等级，并具有承受3m跌落的坚固特性。F28 II万用表甚至可以浸泡在水中，可以说，这款万用表是数字万用表中最“皮实”的产品，特别适合在极其恶劣的环境下工作。在入门级经济型产品中，新款的F18B在原来的F17B基本功能上增加了智能LED发光二极管测试功能，同时将产品的安全等级提升到CAT

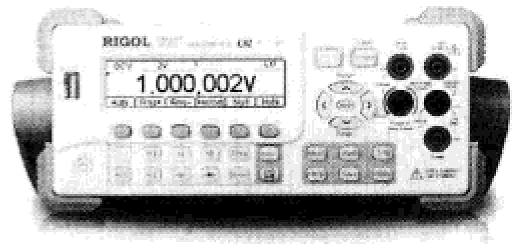
FLUKE 233万用表

F28 II万用表

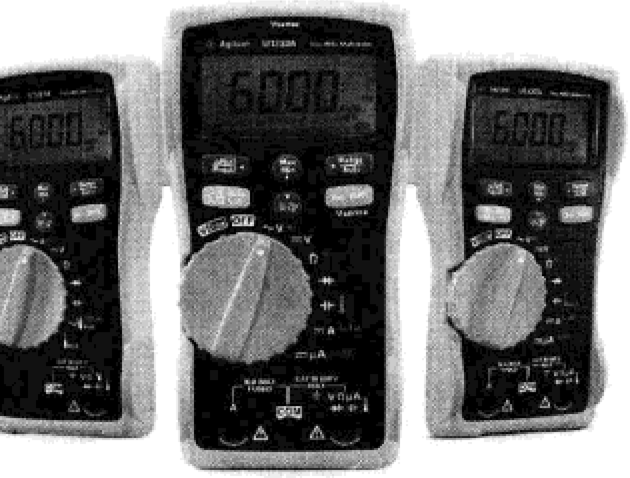
Ⅲ 600V，并标配较高性能的TL19B表笔。在LED应用日益普及的今天，一款万用表配置有发光二极管专用测试功能，已经比配置传统晶体三极管测试功能更为实用。CAT Ⅲ 600V的安全等级使该产品在安全性能方面跻身于中档专业表的行列。

此外，FLUKE还别出心裁地设计了一款具有远程显示功能的FLUKE 233万用表，该万用表的显示屏可以与主机分离，以无线的方式获取测量数据并显示出来，特别适合一些特殊空间和区域的测量工作。对于有些厂家开始尝试的手持示波表，即集成有初级示波器功能的万用表，福禄克似乎并不感兴趣，作为专业万用表制造厂家，它只想把产品做得更专业，而不是一味追求花哨的功能。


安捷伦U3400系列台式万用表



RIGOL DM3608万用表

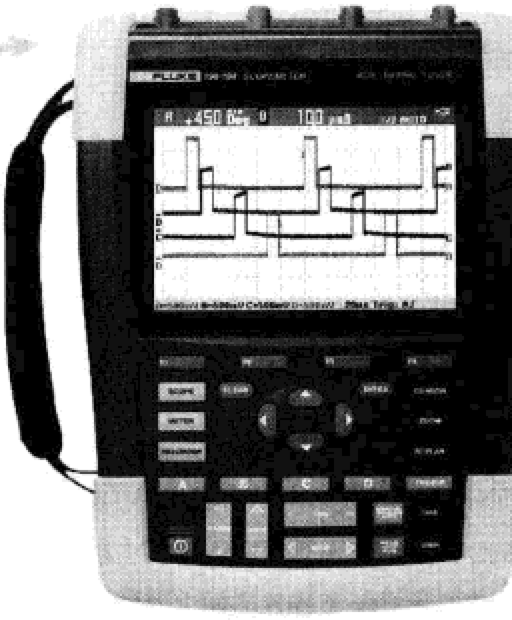

Agilent的U1230A系列万用表

FLUKE的产品线中很早就有手持示波器产品，如FLUKE 99系列，后来该系列升级成FLUKE 190系列，不过由于产品更多侧重于高性能示波器，所以福禄克将其独立成系列。FLUKE 190系列手持示波器性能不俗，完全可以与大部分台式示波器媲美，其100MHz带宽的产品采样率很早就达到了1.25GS/s。不过，好货不便宜，数万元的价格令不少用户咋舌。

Agilent（安捷伦）是国内中高端万用表市场上最有实力与FLUKE竞争的对手。近年来，安捷伦凭借在台式高精度万用表的地位，推出了一系列颇具特色的手持万用表。安捷伦首次将主动发光的OLED液晶屏引入万用表显示屏，主动发光液晶屏不但美观，而且最大的优点是视角广，在光线不佳的环境中的查看效果远优于普通液晶屏+背光。Agilent的U1273A、U1253A/B都是采用OLED显示屏的中高档产品。

安捷伦中高档万用表的功能比较多，除了常规测量功能外，还普遍配置有时髦的低阻抗测试功能、低通滤波器抗干扰功能、Smart Ω测量功能，U1253A/B还内置有频率计的计数器功能和方波发生器功能。安捷伦最近发布的新品种有意在入门级市场试水，新推出的U1231A、U1232A、U1233A都属于低价位、6.000计数、真有效值测量的产品，并都具有低阻抗ZLOW测试功能，三款型号的区别主要在测量功能的配置，基本款的价格不到千元人民币。安捷伦也将手持示波器归入示波器行列，其U1600系列手持示波器提供20MHz和40MHz两种带宽，都具有200MSa/s的采样速率和125KB的存储深度，非常适用于现场测量。

国内手持数字万用表市场百鸟争鸣，由于基础型数字万用表技术含量很低，很多小作坊就能生产。不过，在国内



FLUKE 190手持示波器

万用表市场占有率和知名度占绝对优势的还是要算胜利、优利德、华谊三大老品牌。优利德的UT136系列万用表以零售价低于百元的价格提供自动量程功能，大大简化了操作，用户只需选对测试项目即可，不再需要预估量程。过去只有比较高级的数字万用表才具备自动量程功能，现在随着技术的公开，很多高级功能逐渐大众化了。过去只有在进口万用表中才看到的低内阻测量功能和LPF低通滤波抗干扰测量功能，在部分国产万用表中也开始出现，大幅提高了某些特定测量应用的准确度。

台式万用表的市场焦点主要集中在五位半以上的高精度多用表/电压表产品上。这类仪表精度要求很高，高端产品过去基本为国外产品所垄断。安捷伦/惠普八位半的3458A多少年来一直是业内的顶尖产品。在很多实验室里，六位半的Agilent 34401A万用表成为标配的高精度仪器。安捷伦34401A价格较高，为了适应众多小型实验室基础测量的实际需要，安捷伦推出了U3400系列经济型双显示数字万用表，在确保可靠基础测试能力的前提下，减少了显示位数和高级应用的输出读数速度，同时提供了更加容易接受的价格，其中四位半的安捷伦U3401A的价格不到34401A价格的一半，五位半的安捷

伦U3402A也只有4000元左右。

FLUKE也有自己的台式高精度万用表产品，只是产品种类没有安捷伦的丰富。FLUKE用新产品8808A替代了老款的45型五位半多用表，并提供了8845A/8846A两款六位半的产品。FLUKE顶级的8位半多用表依然是8508A。国内，北京普源精电（RIGOL）推出了六位半的DM3608国产数字万用表，标志着该企业在高精度仪器方面的研发和制造能力，同时还提供五位半的DM3508万用表。RIGOL的高精度万用表在扩展功能和操作界面上已能赶超国外同类产品。

示波器

示波器是电子行业的常用测量仪器，数字存储示波器已成为市场的主流，高端市场则是数字荧光示波器的天下。在高速数字电路随处可见的时代，高端市场示波器的功能已经不满足于显示波形，而几乎都集成了逻辑分析仪的功能。示波器的工作带宽越来越高，在模拟示波器时代20MHz带宽的界限现在看来只能沦为低端手持示波器的水平，现在100MHz带宽只能成为入门级产品，一般中档的示波器带宽都在500MHz以上，比较专业的实验室都会考虑500MHz~1GHz带宽的示波器，顶级实验室多会使用10GHz以上带宽的产品。目前顶级的示波器带宽已经可以达到33GHz。

Tektronix(泰克)、Agilent(安捷伦)、LeCroy(力科)是国际最著名的三大示波器

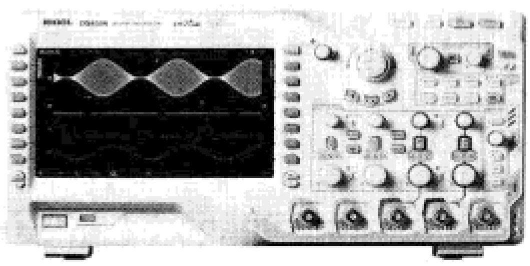
利利普SmartDS系列示波器

厂家，都拥有业界最顶级的产品，各自的产品也各具特色，牢牢地控制着中端和高端市场。德国老牌射频仪器厂家ROHDE & SCHWARZ（罗德与施瓦茨）去年开始也有意进入示波器领域，主攻中端市场，今年我们已经可以在国内看到R/S风格的示波器了。国内厂家大多最初以低端产品生产为主，一些技术能力强的企业开始进入中档市场。国内示波器比较有名的品牌有普源、安泰信、优利德、利利普、鼎阳、三汇。

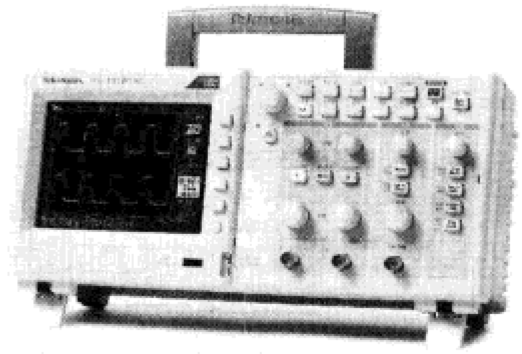
泰克示波器由于进入国内市场较早，一直享有示波器“老大哥”的地位。泰克示波器产品非常丰富，涵盖高端到入门级用户。泰克独有的DPO数字荧光示波器可提供较普通DSO数字存储示波器更强的信号查看能力，弥补了普通DSO只能两维显示图形的缺点，在泰克中档以上示波器中广泛应用。在高端产品方面，泰克拥有性能杰出的DPO/DSA/MSO70000系列示波器，中档产品有MSO/DPO5000和4000B系列，低端产品则有TDS1000B和TDS1000C-SC 系列，其中TDS1000C-SC系列采用流行的彩色液晶屏显示，比较讨用户的喜欢，也属于一款与时俱进的产品。

由于品牌优势，面对众多国产示波器的围攻，即使是几乎没有价格和性能上优势的泰克低端产品，但依然有众多稳定用户。安捷伦示波器虽然主攻高端和中档市场，但产品也涵盖低端市场，产品链完整。在高端，有性能卓越的Infiniium 90000 X顶级系列和Infiniium 90000A高性能系列，在中档市场有Infiniium 7000B系列，针对入门级市场提供有经济型的1000和Infiniium 2000 X系列。不过安捷伦示波器在国内低端市场的名气远不如泰克。罗德与施瓦茨刚涉足示波器领域不久，产品不是很多，主力是高性能的RTO系列和中档的RTM系列。RTO系列产品工作带宽分600MHz、1GHz、2GHz三档，RTM系列产品工作带宽为500MHz。作为德国仪

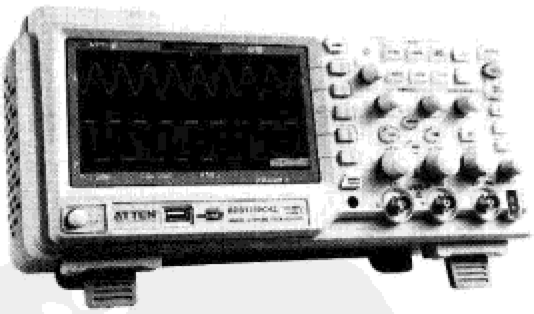
Infinium 2000 X系列示波器



DS4000系列示波器



TDS1000C-SC系列示波器



ADS1102CAL示波器

器，它的很多操作风格与美系仪器有所不同，如果用户有操作R/S射频仪器的经验，那么对其示波器也一定会有好感。

RIGOL示波器在国内扮演领头羊的角色，它推出的DS6102/6104示波器具有1GHz带宽，显示了厂家的制造和研发实力。此外，RIGOL还有多款500MHz和

350MHz带宽的DS4000系列示波器，是国内少数具备自主生产中档示波器实力的厂家。在入门级市场上，RIGOL的DS1102E是最受电子爱好者欢迎的100MHz带宽经济型示波器，广泛出现在一些个人电子工作室和学校教学实验室里。虽然DS1102E的价格在同类国货中不算最低，但有很多用户确信物有所值。

安泰信也是国内仪器著名品牌，在示波器方面主攻入门级产品，具有多款100MHz和200MHz带宽的产品，近期热销的是一款升级版的ADS1102CAL示波器，市场价格不到2000元，颇具性价比。

以万用表闻名的优利德公司近年来在数字示波器上自成系列，产品系列经过多次升级。目前主流销售的UTD2000L系列在主流硬件配置的基础上，采用较大的7寸液晶屏，提升了视觉效果，100MHz带宽的UTD2102CEL销量不错。

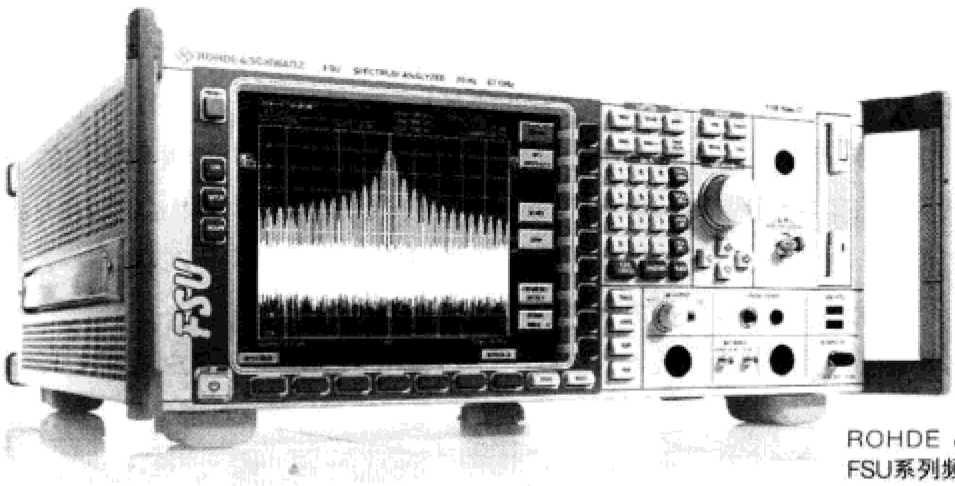
OWON（利利普）示波器同样主打入门级市场，采用大屏幕液晶是OWON示波器最大的特色，在目前入门级示波器普遍使用320×234分辨率的5.x英寸液晶屏时代，OWON广泛采用8英寸高分辨率液晶屏，不但有利于波形的显示，同时也大大提高了示波器外观的档次。新上市的新品SmartDS系列在以前PDS系列基础上，进一步提升了液晶屏配置，使用了800×600的8英寸大屏，并主打深存储，主机存储深度可达10M，几乎与一些中档示波器相当，特别适合需要记录较长时间信号的应用。纤薄机身的OWON SDS7102是入门级市场的热销产品，主流的100MHz带宽、1GS/s采样，外加8英寸高分辨率大屏和10M深存储，使得它的亮点颇多。

鼎阳科技是有名的数字示波器ODM厂家，作为自身品牌推出的产品具有较高的性价比。鼎阳在国内市场也主攻入门级产品，SDS1000CM系列在SDS1000CN的基础上，将存储深度提升到2M，使产品增加了深存储功能。它的性价比不错，受到不少个人用户的青睐。

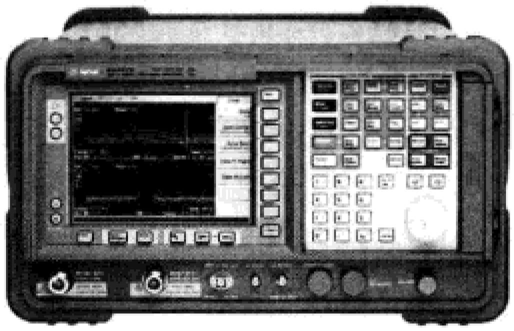
频谱分析仪

频谱分析仪是射频领域最有用的仪器。过去，频谱仪的价格昂贵，基本为进口产品所垄断，随着国内民营仪器的发展，一些有实力的仪器制造厂家已不满足示波器的制造，开始把目光投向科技含量更高的数字频谱仪项目。与其他仪器一样，频谱仪也进入了数字化时代，中高档的频谱仪全面采用数字化软件化架构，传统模拟线路频谱仪依托低价优势存在于低端市场。随着新型复杂通信信号的出现、用户对频谱仪的性能要求也越来越高，对最高工作频率、底噪、相位噪声、分辨率都提出了很高的要求。频谱仪不再单纯用于简单地观察频率占用和信号幅度，更多的是利用频谱仪内置的应用分析软件自动或半自动地对特定信号进行测量。

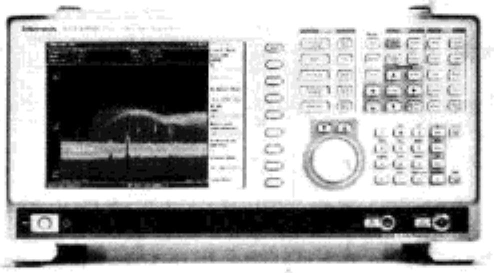
高端频谱仪基本都是进口仪器的天下，国内中高档应用中，安捷伦/HP和罗德与施瓦茨的频谱仪占有率最高，以示波器闻名的泰克公司也有一些很有特色的高性能频谱仪产品。



ROHDE & SCHWARZ FSU系列频谱仪



Agilent ESA-L系列频谱仪



泰克RSA3000系列频谱仪

美国Agilent主攻高端和中档市场，同时也提供有价格相对低廉的低端型号。安捷伦的顶尖产品是PXA系列信号分析仪，高端产品为PSA高性能系列，为中档市场准备了便携/固定两用的ESA-E系列经济型产品。对于那些应用要求不高、对价格敏感的用户，安捷伦提供有ESA-L低价基础系列频谱仪，低配的E4411B价格可以低于10000美元。过去，PSA系列的E4440A 26.5GHz频谱仪几乎是高端射频实验室的标配，现在PXA系列产品提供更顶尖的测量性能和更强大的信号分析和自动处理能力。工作频率到3GHz的E4403B价廉物美，也是我们在一些小型工作室和现场测量中最常见到的安捷伦频谱仪。ESA-L系列产品价格不高，扩展性强，还可以针对不同的应用考虑增配专用软件，以节约预算。

德国ROHDE&SCHWARZ（罗德与施瓦茨）向来是惠普仪器（安捷伦的前身）的有力竞争者，属于欧洲老牌的射频仪器专业厂家，可以提供世界顶尖的射频仪器，产品以精密、细致著称。频谱仪是R/S拳头产品之一，主流产品划分为顶级系

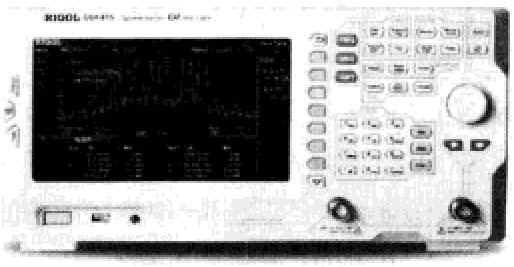
列、中高档系列和便携系列。顶级系列中的FSQ和FSU提供卓越的信号分析和精密测量功能，工作频率可以配置到40GHz以上，往往成为很多计量实验室的“镇馆之宝”级的仪器。中档系列中的FSP在国内射频实验室中应用较多，价格和性能有很好的平衡。以轻便著称的FSL广泛应用在现场检测和移动工作车里，FSL测量稳定、软件配置灵活，扩展功能丰富，价格不贵，也是一些预算不多的小型工作室所青睐的机型。R/S的手持频谱仪随无线电监测设备较早进入中国市场，得到用户的一致好评，让大家知道原来频谱仪也可以做到与笔记本电脑差不多的体积和重量。手持型FSH3频谱仪广泛应用于卫星系统维护和无线电移动测向以及通信系统干扰分析领域。

泰克的频谱仪主推实时频谱仪概念，理论上，采用实时频谱技术相比采用传统扫频形式，能较少遗漏突发瞬时信号的几率。泰克专注高端和中档市场产品，分为高性能的RSA6000系列，以及针对中档市场的RSA5000系列和RSA3000系列。

国内民营企业自主生产的频谱仪在过去的一年中有了可喜的发展，很多技术壁垒被打破，数字频谱仪的制造水平有了很大的提升。就像当年的数字示波器那样，有越来越多的国内厂家参与频谱仪的研发，便宜的入门级国产频谱仪离我们不再遥远。

以示波器闻名业界的普源精电推出了多款全数字频谱仪产品，RIGOL此举也算得上高起点，直接越过低端的模拟线路频谱仪。RIGOL数字频谱仪分为3个档次：旗舰的DSA1000A系列便携型频谱仪，主打小体积和优异的性能，性能指标基本可以与一些进口手持频谱仪叫板。经济型的DSA1000系列提供实用级的性能和容易接受的价格，可以是一些公司实验室和学校教学实验室的选择。DSA800系列倡导低价位万元级频谱仪的概念，目前工作频率到1.5GHz的RIGOL DSA815频谱仪售价不到万元，使国内用户花费10000元就能使用到全数字中频技术的现代级频谱仪，比一些二手老式进口频谱仪还便宜。DSA815具有 1.5GHz的最高工作频率和最小100Hz的分辨率，带宽基本满足小公司和个人工作室研发的基本需要，其综合性能远比一些市售模拟频谱仪好得多。

安泰信出品的频谱仪在国内入门级市场上非常有名，其模拟频谱仪经过几代改进性能有了很大的提高，老款AT50XX系列模拟频谱仪由于价格低廉，仍然很受欢迎。尤其是内置跟踪源的型号，由于用途广泛，特别受到个人和小厂流水线用户的青睐。加强型的AT50XX+系列升级关键元器件，使产品性能和稳定性有所改善。升级的AT60XX系列采用DDS频率合成电路替代原来的压控振荡电路，大大增加了频率的稳定性，提高了频率显示分辨率，结合单片机控制技术增加了参考电平设置功能。安泰信的AT6000D系列完全是数字频谱仪的构架，工作频率可达3GHz或6GHz，并且可以选配多种跟踪信号源，可以说是一款基础型的现代数字频谱仪。安泰信最新款的AT8030D主要性能指标提升到了国际主流水平，RBW分辨率带宽最小达到5Hz，并且内置自动测量功能，可以进行邻道功率等高级测试。此外，在示波器市场上崭露头角的鼎阳也推出一款高起点的数字频谱仪SSA3030，性能指标也不错。国产频谱仪除了民营企业的产品外，一些国家级大企业的产品也值得一看，如中国电子科技集团第41研究所出品的系列产品。


普源精电DSA815频谱仪

利利普AG4151任意波形信号发生器

信号发生器

除了最常用的万用表、示波器、频谱仪，近年来，在信号发生器和可编程精密电源方面，国内一些企业也有不少建树。过去函数信号发生器主要以压控振荡器加频率计为构架，随着频率合成技术的普及和廉价化，不少企业都推出了基于DDS（频率直接合成）和单片机数控技术的数字函数信号发生器，并进一步升级为数字化任意频率发生器，使函数信号发生器的频率稳定度、操作方便程度以及扩展功能都跨入了新境界。

典型的产品有普源精电RIGOL DG1022函数信号源，DG1022设计时尚，技术先进，实用性强，而且价格仅在2000元左右，深受用户喜爱。在DG1000系列的基础上，RIGOL发展了具有更高输出频率和采样率功能更为强劲的DG2000、DG4000以及高端的DG5000系列。DG5000已经是集任意波形发生器、脉冲发生器、IQ基带源/中频源、跳频源、码型发生器、函数发生器6大功能于一身的全能型信号发生器，功能和界面上完全可以与一些国外品牌产品一较高下。

除了RIGOL、利利普、安泰信、鼎阳、优利德、胜利高也都推出了自己的入门级函数信号源产品，可以说各具特色。也正是有了同行间的竞争，所以才有不断改进、升级产品的动力和提供低价的可能。目前一台主流硬件配置的100MHz数字示波器的价格可以不到2000元，这在以前是不可想象的。

希望我们的仪器制造企业在2012新的一年中能给我们带来性能更好、价格更优的国货精品仪器。

从本期开始，我刊尝试推出一个新的栏目——制作之道，旨在为读者提供一个分享爱好观点、评述兴趣热点、关注技术创意的空间。一直以来，我们杂志关注制作和制作者的故事，却好像忽略了这些制作者或技术提供者们对于某些事物的观点与思考，而往往这些思考可能会对读者的实践经历带来更多的启发和引导。“高手”们都在思考些什么？他们对行业和技术又有着哪些独到的见解呢？【制作之道】试着揭示这些问题，带给读者技术之外的重要参考。欢迎您通过以下方式来提出话题意见和建议，让我们把栏目办得更好：1. 发E-mail至radio@radio.com.cn；2.《无线电》网站www.radio.com.cn的论坛；3.《无线电》杂志官方认证微博：weibo.com/radiom。

能者自答

◎杜洋

当我得知自己有幸为新栏目撰写第一篇文章的时候，内心里既感到荣幸又深知责任重大，因为写评论文章是需要下很多功夫的。相对来说，技术文章比较好写，因为技术是“死”的东西，不需要太多涉及个人的经历和观点，只要如实地把技术知识讲明白，或是把制作的过程介绍清楚，如果再加上一点轻松愉快的写作风格，就应该算是好的技术文章了。可是要写出一篇大家都满意的评论文章则几乎是不可能的，读者众多，众口难调。有人爱吃咸的，有人爱吃甜酸的，总有一些朋友会感觉不合品味。所以，小弟在此先打个招呼，我以下所言仅是我有限的个人经历和浅薄的看法，一家之言，仅供参考。如果碰巧合了您的口味，就请多多捧场。如果有不同见解，欢迎多提建议。话不说不明，理不辩不行，与有不同观点的人讨论，可以学到更多。

如今的电子爱好者圈子里有一些奇怪又有趣的现象，平时我们都见怪不怪，不觉得这有什么问题。可是仔细观察却发现这些现象会带给我们一些新的思考。比如行业里不成文的规则、对某些理论的轻信，还有爱好者们一些无意识的行为，都是我很感兴趣的问题。因为篇幅关系，本文中我只能就“提问”这一话题做一个探讨，如果大家有兴趣的话，我会在今后的文章里把我观察到的现象一一和大家分享。

■ 提问者的启示

在《爱上单片机》一书中第一章的开篇，我提到过我会尽我所能的帮助初学者解答问题。那么经过了两年的时间，我回答了多少问题呢？两年后的今天，我还是在感叹电子爱好者中的美女太少，同时新感悟到了初学者的问题太多。很遗憾，我没能坚持不断地回答问题，而是在半路上有了新的想法。“授人以鱼不如授人以渔”，我要转变思路，教会大家一种“能者自答”的方法，请相信这些内容对初学者的能力提升非常有帮助。

首先我要感谢一下工业革命，让我们有了今天如此便捷的通信和交通。复制技术的卓越让更多的人可以读书、学习，网络技术的发达让沟通只在弹指之间，交通工具的高速让地球变成小村庄了。向别人提问不再是能不能的问题，而是你想不想的问题。在工业革命之前，读书学习是极少数人的奢侈品，博学多才的老师更是少得可怜，向智者提问则更是郑重、珍贵的事情。提问者需要长期跟随老师学习，还要忍受老师的“打骂”，然后才有机会得到老师的赏识和点拨，才有向老师提问、讨论的可能。所以，我们看到孔子身边一直跟着一群弟子，千辛万苦地向老师请教。如果换到今天，我们直接关注孔子的微博就行了。古今的对比可以看出，提问这件事变得容易了，也变得廉价了，于是开始泛滥成灾了。在各大电子爱好者论坛，常会见到“急”，“跪求”等字样的帖子，还有一些提问者把问题的描述一笔带过，甚至不描述问题的细节，让看到帖子的好心人凭运气来猜。我就见过一篇帖子，里面只有一句话：“跪求，我的单片机出问题了，怎么办？”我只能回答他“那就……公事公办吧！”学者诸君呀，你们都急于想通过提问来得到技术上的提升，但我认为这正好适得其反。下面我就向你证明一个我的观点：不提问可以提升你的能力。

■ 提问的坏处

可能我的观点有些极端，但是这终将会是你面临的事实。我认为电子制作中的绝大部分问题是不需要通过向别人提问来解决的。不经思考的提问是一种坏习惯，它是一种恶性循环，最终消磨你的心志。提问有哪些坏处呢？

1. 不思考

提问者多半提出问题后就不再探索，而是坐等回复，一直如此就失去了思考的动力和能力。而人类之所以进化出文明，正是因为人们不断遭遇困境而又不断思考的结果。我不赞成不经思考的提问，也对所谓经过思考的提问表示怀疑。因为我相信，经过思考的都能自行解决。至少我在初学时很少提问，我所想解决的问题都可以自己找到答案。不只是我，随着你的能力提升，你也会发现可以提问的问题越来越少，直到无人可问的程度。但如果你一直不去思考，困难就会接踵而来，最终把你沦为困难的奴隶。

2. 容易轻信

容易轻信是现代社会里人人都会有的毛病，轻信谣言，轻信广告，甚至轻信了一种学习方式——众多前辈告诉我们的，只有按他们说的方式学习才是正确的。同样的轻信也会出现在问答之间。当有人言词正经地回答你的问题时，你会很容易相信他的回答，如果有更多人提供同样的回答时，你是否会深信不已呢？那我想请问你了，回答问题的人是谁，他们都是干什么的，他们各有怎样的经历和见识，他们的技术水平又如何，他们是否能以90%以上的比例成功解决别人的问题呢？在不了解这些问题之前，他们的回答只能当作

没有责任担保的参考资料。轻信让你忘记自己，盲从了别人。

3. 麻烦别人

我曾在论坛里回答过初学者的问题，我发现这确实是耗费时间的事。我需要思考他们的问题，然后做出推测，给出我的几种可能的答案，然后再把语言组织好写成回帖或回信。通常提问者都不会一次解决问题，往往还会提出新的问题，就这样三番五次，才能结束一场战斗。听上去好像费不了多少时间，可是要知道，提问者可是成百上千的人群呀，而能切实有效回复的人并不多。最后的结果就是提问者越来越多，回答者则不想浪费时间，回复质量越来越低。麻烦别人也就是在麻烦自己。

4. 传染别人

当一些提问的帖子频频出现，一种状态就形成了。如果有初来乍到的朋友，这种固有的状态将被新朋友认为是常态，于是他们也开始如法炮制地提问了。他们心想："因为大家都在论坛里提问呀，我想我也应该这样做"。如同疾病传染一样，轻易提问的状态成了论坛里、甚至是爱好者圈子里的文化。一旦形成了文化就会持续以上的恶性循环了。

5. 加重损失

我从不认为在学习和制作的过程中出现问题是一种损失，因为古往今来，问题才是推动学习的动力。试想如果没有了问题，我们从哪里促进我们的思考呢？（当然了，前提是我们有独立解决问题的能力）但是如果在遇到问题后提出来并得到了错误的指导，那就真的会出现损失了。回答者因为对问题的理解差异，个人经验的不同，答案也各不相同。一旦对回答者轻信，做出错误的判断，会让本来简单的问题变得更严重了。例如，在单片机下载时发现无法下载的情况，本可能是数据线短路导致的，但有人说可能是正、负极接反了，于是你调换了单片机电源线的极性，结果导致单片机烧毁。这样的损失不是别人造成的，而是你自己造成的。

6. 效率低下

本以为求得别人的帮助是高效率的，但理想和现实充满了差距，提问者在发帖子提问后就完全处于被动状态。什么时候回复，回复内容的多少，全由别人的心情而定。有的提问根本没人回复，就慢慢地被人们遗忘了。学会独立解决问题，才是提高效率的不二法门。

7. 失去兴趣

许多初学者朋友就曾和我说过他们的学习历程，其中有一些地方非常相似。他们先是喜欢上了电子制作，然后读书学习，开始制作。制作中遇到问题就学人家在论坛提问，可是左等右等都没人理他，或是提了些建议却不见效果。于是他不知所措，看着自己燃尽热情却不能成功，后来把制作的东西放进仓库里，慢慢地也就没了兴趣。人们都希望尝到成功的喜悦和成就感，如果没能实现，我们就又少了一位本应更具热情的爱好者。

8. 失去学会独立解答技能的机会

我列出了所有轻易提问所带来的坏处，虽然这种坏处害人害己，但也不至于对你有重大影响。如果你失去了学会独立解答技能的机会，你就失去了成为高手的可能。因为独立解答是所谓的高手、强人必备的基本技能，也是一位爱好者从"初学者"转变为"设计者"的重要标志。

接下来我将介绍独立解答的基本技能，但在此之前，请对灯发誓，不会再去向别人提问了。戒掉提问的习惯如同戒烟一样，需要经历一段痛苦的折磨，更重要的是在思想上的解脱和重新构建。值得庆幸的是，一旦你坚持下来，你会对提问一事有了新的理解，你会真切地发现，这空气多么清新，这世界多么美好！

■ 独立解答的技能

1. 学会使用网络工具

现在我们正式进入独立解答速成课。首先我们要学会使用网络工具。其实网络工具只是我们所有工具资源的一部分，因为我们还要会用万用表、示波器之类。我之所以只提到网络工具，除了它无可替代的重要作用，还因为其他工具都会配有说明书，在专业的书籍上我们也可以找到其他工具的使用方法和技巧。而唯有网络的使用方法没人传授，因为它看起来如此简单，好像不用学习似的。在我看来，网络工具是独立解答的关键。我常用网络来做两件事——搜索资料和关注资讯。搜索功能是人人都知道的，比如谷歌、必应、百度等搜索引擎，可是要用好它们并不容易。在论坛提问中有相当一部分人是索要技术资料的，例如在单片机论坛上经常有人会问："谁有STC12C4052AD的资料，请发给我一份"。其实这些具体的资料查找只用在搜索条中输入"STC12C4052AD"就行了。还有一个小技巧，因为大多数正式的资料手册都是PDF格式的文件，在搜索条输入型号后再空一格，加上"PDF"字样，这样搜索出来的结果中一定有PDF文件可以下载。你还可以登录到专门免费提供PDF数据手册的网站上去下载，例如www.alldatasheet.com。如果资料是英文的，则可以适当地使用谷歌翻译。若想了解一款芯片或产品，一定要去它们的官方网站看看，先了解它们的产品系列，再看看类似产品的性能和价格，说不定什么时候我们就能用到。如果在单片机制作时遇到问题，也请把你的问题的关键词输入搜索条，请你相信你并不是开创者，之前一定有别人遇见过同样的问题。他们可能花了大量的时间才找到了答案。例如制作STC单片机的ISP下载线时，发现了不能下载的问题，就可以搜索"STC　ISP下载　失败"，如果在C程序编译时出错了，就把整段报错信息复制到搜索条里。在论坛里提问的帖子，在"百度知道"里问答的记录，还有一大堆五花八门的网站里，总会有几个和你同样"倒霉"的家伙可以帮到你。

一般情况下，看他们的问答记录再加上自己的实验推理，是可以解决问题的，不需要你再提问了。需要注意的是，如前面所讲的，千万不能轻信他们所说的。如果绝大部分搜索到的答案都类似，那还可以试一下。不过真理往往掌握在少数人手上，还是要抱

看怀疑的态度。当搜索到的答案不一致时，就要把答案分类，然后分析其可信度。当想实践试一下时，一定要从不造成损失或损失较小的方法开始尝试。这是相对稳健的排查方案。有的时候解决一个问题像用傻瓜相机拍照一样简单，只要按下快门即可，而我们只是不知道哪一个按钮是快门。

网络工具的另一个功能是关注资讯。在我的收藏夹里专门有一个栏目是和电子技术相关的网站链接，每次上网时都必须把里面的网站浏览一遍，看看有哪些新技术、新产品发布，又有什么业内新闻。因为电子技术是目前发展、革新速度最快的行业之一，我需要时刻与前沿同步，才能保持创新的思考。作为初学者的你，关注资讯可以让你的视野更广阔，更能旁征博引。

有的时候解决一个问题像用傻瓜相机拍照一样简单，只要按下快门即可，而我们只是不知道哪一个按钮是快门

2. 学会利用实验方法

如果想找到什么地方出了问题，我们可以先确认有哪些地方没有出问题，这就是排除法，实验解决问题的常用方法之一。我们都曾用它来应对过试卷上的选择题，而我们遇见的技术问题其实也只是一道选择题，排除法同样有效。比如我们在做数码管电子钟时，上电后没有任何显示。这时我们拿出万用表测一下电源是否正常，再在各元器件上测试电路连接是否正确。给单片机写另一个程序，从而排除程序错误或单片机不工作所导致的问题。再测一下数码管上的LED段码是否损坏。还没解决的话，就逐一地拆下各功能组件，排除因组件内部断路或短路导致的问题。把你所能想到的值得怀疑的地方列一个表格，地毯式排查。

另一个值得推荐的方法是从现象反推问题，也就是把所遇到的不正常的问题看成是正常的结果。其实所谓的正常和成功，也只是所有结果中的一种，它被夹杂在各种不正常的结果之中。所谓的正常，只不过是制作者头脑中指定的众多结果中的一种罢了。这种结果的现象一定是由某些原因构成的。我们要做的和美国联邦调查局一样，就是要根据事发现场的一切现象，追溯并还原真相。

一个经典的案例是一款LED点阵屏时钟显示上出现了乱码。我们不必用排除法就能知道问题不在电源电路，也不在时钟芯片上。一定是电路连接错误，或是程序问题。又因为程序是网站上下载到的标准版本，于是我们可以推测出问题发生在硬件电路上。我们最先要做的就是观察显示乱码的样子，从乱码的规律去推测可能接错的线，然后再用实验去证明。当你遇见的是无法描述或是无法搜索的个性化问题时，学会利用实验的方法找出问题就非常重要了。实验重在推理、测试、判断，是需要花时间练习的，要想成为这方面的高手，我也只能祝你一切不顺，多遇问题了。只有不断在实战中运用，才会熟能生巧，最终进化成一种直觉。

3. 学会探寻深层问题

时钟不显示，单片机不工作，电源短路，你认为这些本不应该发生的事情是偶然的吗？其实所有看似偶然的事情中都有其必然的因素，真正解决问题的方法不在其问题本身，而在其更深层的问题上。所以在解决了问题之后，你还必须思考导致这些问题出现的深层问题是什么。只有解决了深层问题，你才不会再犯，才真正有进步。

依我的经验来看，我们制作中的大部分问题都是马虎大意导致的。防止马虎大意不能只是对自己狠狠地说“下次注意，以后一定要认真”，这种豪言壮语是没用的。真正的预防是用技术手段和过程管理的方法解决。比如发现时钟不显示是因为单片机是坏的，那么以后在制作前是不是应该测试一下所有的芯片呢？发现电路短路是因为制作中有锡渣落在引脚上了，那么之后的电路板是不是要先用刷子清理一遍，再拿放大镜细致检查一次呢？如果出现电源插针的正负极接反了，那么以后是不是要采用有定向功能的插针呢？不要被解决了问题的成功感冲昏了头脑，花点时间思考一下深层问题吧。

其实，所有看似偶然的事情中都有其必然的因素，真正解决问题的方法不在问题本身，而在更深层的问题上

4. 记录与分享

我有写笔记的好习惯，工作笔记已经写了三大本了。可能有朋友会不喜欢，反正问题都解决了，深层问题也找到了，还记下来干什么呢？我写笔记其实是和自己的对话，是过去的自己和未来的自己在讨论的过程。解决问题的过程像种子，随时间流逝在笔记本上开花结果，供未来的自己享用。当你享用到果实的那一刻，你的问题才完完全全、彻彻底底得到了解答。也许我讲得太诗意了，因为这是一种只能意会不能言传的感受。实际上，写笔记是一种潜意识思考的过程。当你不断写笔记、读笔记的时候，潜意识会把思考的结果活化到意识中，你就会发现你对很久之前遇到的那个问题理解得更透彻了。这个理论可不是虚构的小说，而是真正的心理学方法，有兴趣的朋友去百度一下吧。自己学会了，也别忘记了回报社会哦。把你的笔记和感悟写成文章发表在网上或者《无线电》杂志上吧，让更多后来者可以在搜索相关问题时找到你的答案。如果大家都这样做，我们的资源就越来越多，困难就越来越少了。

■ 总结

关于提问这件事，看上去是理所应当的。我们早以被固有的习惯左右着思想，没能考虑到我们为什么要提问？提问有什么坏处？有没有比靠提问解决问题再好的方法？所以我们一直认为提问可以提升技术水平和能力，是初学者必须经历的过程。但我的实践证明，提问不仅不会提升技术水平和能力，反而带给你前述的系列坏处。让你很难快步前进、很难摆脱“初学者”的命运。既然提问阻碍初学者的进步，那不能提问的我们要怎么解决问题呢？其实初学者的问题绝大多数都是可以利用网络工具、实验方法、探寻深层问题来解决的，在这个过程中初学者可以学到如何独立思考，如何排查问题、总结规律。这些独立解答的方法和技巧可以形成良性循环，让你越来越熟练于独立解答，甚至达到突破、创新的境界。不提问可以提升你的能力，是在靠逆境迫使自己快速进步的方法。当你真的理解了我的观点，你就应该明确地知道，在困难重重的成功之路上，真正可以帮助你的人只有你自己。

漫话业余电子爱好的变化

◎唐道济

回顾电子技术的发展史，业余爱好者曾作出过很大贡献，可谓功不可没，我国也曾有过一支庞大的业余爱好者队伍。爱好者现在常称作发烧友，有电子爱好者、音响爱好者、无线电爱好者、音乐爱好者、集邮爱好者……

我与电子技术结缘于20世纪50年代初的学生时期，源于对电器和机械装置的强烈好奇及长辈的影响，幼小时玩电池点小电珠，继而玩矿石机，再玩简单电子管，直到玩超外差收音机、高传真扩音机和其他电子装置，一直持续了几十年仍兴趣不减。回想起我国在20世纪五六十年代的无线电爱好者，人数众多，队伍庞大，包含中小学生、各界人士，不管是企业还是机关都大有人在，那种自已动手、废寝忘食、日以继夜的实干精神，恐怕是现今“发烧友”难以想象的。学校里的无线电兴趣小组活动极为活跃，还举办各级展览评奖。我清楚记得我高中参加的学生科研会无线电小组，每周活动半天，有专门的场所和经费，每年举办年会，甚至参加过其他国家的青少年科技展，“大跃进”时期试制收扩音机为学校放“卫星”作贡献，那是一段十分让人神往的回忆。

当时的无线电爱好者所处环境条件都很差，经济不宽裕、缺乏参考资料、没有高档元件、信息不畅、求师无门。知识来源除了新华书店里并不太多的专著外，最受欢迎的就只有《无线电》杂志了，从小阅读《无线电》引发兴趣而终生从事电子技术的不乏其人，《无线电》对造就人才所起的作用不容忽视。想当初，为了装配一台收音机，要想方设法地先找线路图(电原理图)，再淘零件(元件)，还要自己制作一些配件，如线圈、底板、外壳等，至于测试手段，能拥有一块简陋的万用表就已很奢侈了。

当年电子元器件品种很少，除少数大城市外，几乎没有专门的电子元器件销售商店。但那个年代的爱好者动手能力强，善于因陋就简，富于创新意识，充分发挥各自的聪明才智，经受种种磨炼，不仅自己把玩，还结合自己的工作，做出各种实用的电子设备并进行技术革新，不少当年的无线电爱好者后来都成为了电子行业的骨干和专家。

北京市无线电测向运动

上海长宁区科协业余无线电学组

湖南举办的无线电遥控舰船模型活动

武汉实验小学业余无线电小组

以上为《无线电》杂志1964年9月封4“群众无线电活动”的部分照片

20世纪70年代到80年代中期，业余自制电子设备在我国十分盛行，比如黑白电视机、高传真扩音机、收音机、简易仪器及其他电子装置等。那段时间，先是各地电子整机厂都将剩余和筛选下来的元器件进行大量的市场处理，改革开放后更有大量进口元器件引进，为爱好者提供了大量价格便宜且性能优良的元器件，为爱好者制作较高档电子装置提供了方便和可能。大量进口器材进入市场，更让爱好者开阔了视野，爱好者的水准在这个时期可说得到了充分体现，这个过程中造就不少富有实践经验的高手。

而后，由于学生学业日趋繁重，造成学生爱好者日益减少，爱好者中出现了一定的年龄断层，爱好者队伍逐渐衰退。从20世纪90年代开始，真正动手的爱好者越来越少，高手更少，DIY似乎对新一代年轻人失去了吸引力。究其原因，学生的学习重担在一定程度上使他们丧失了大量课余兴趣空间，好奇心无法满足，加上优越的经济条件和丰富的社会资源，使他们有了更多的爱好选择，他们甚至宁愿花大量时间在游戏和网络上也不愿意去从事那种自己动手、排除困难、获得成功的喜悦的无线电制作，这难免让老一辈的爱好者感叹后继乏人。

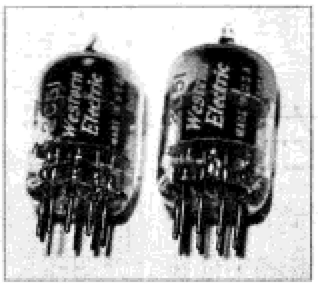
在音响领域，欧亚诸国自制音响设备，一直非常普遍，国外还有关于专门制作的杂志，已形成一种浓重的文化氛围。我国目前在此领域仍有一些人在自制电子管放大器，人们称之“焊机派发烧友”，他们为了求得好的效果，可以不惜工本，煞费苦心地搜罗高档元件，恨不得试遍各种电路，可谓烧得不亦乐乎，此中苦乐难以用笔墨形容，只是现时即便是所谓“高烧友”，亦少了份昔日那种事无巨细都要自己动手，以及索根究底、知其所以然的精神，多了些对所谓顶级、发烧元件和历史名机线路的膜拜与迷信，创造性缺失，主观甚于客观，更有“走火入魔”者。

爱好者中出现上述情况，追根溯源，皆为基础原理学习太少，不求甚解，道听途说，以讹传讹所致，凡事太过实用主义，贪懒图快，实则是欲速则不达。发烧莫忘科学态度，自己动手制作，必先具有一定电子和机械基础知识，再通过大量实践，进而掌握原理，积累经验，提高技艺。想当然、似是而非的理解最是要不得，对流行在网络及刊物上的文字不能盲从，不要被天花乱坠的词汇所迷惑，须知天下没有十全十美的事物，凡事一定要务实，美好的结果，必在艰辛的付出后。

让我们共同努力为下一代的业余爱好者树立榜样，创造条件，迎接新时代、新科技的来临，丰富、充实我们的业余生活吧！

新书预告

《电子管声频应用指南》



作者：唐道济
预计出版时间：2012年1月

内容简介

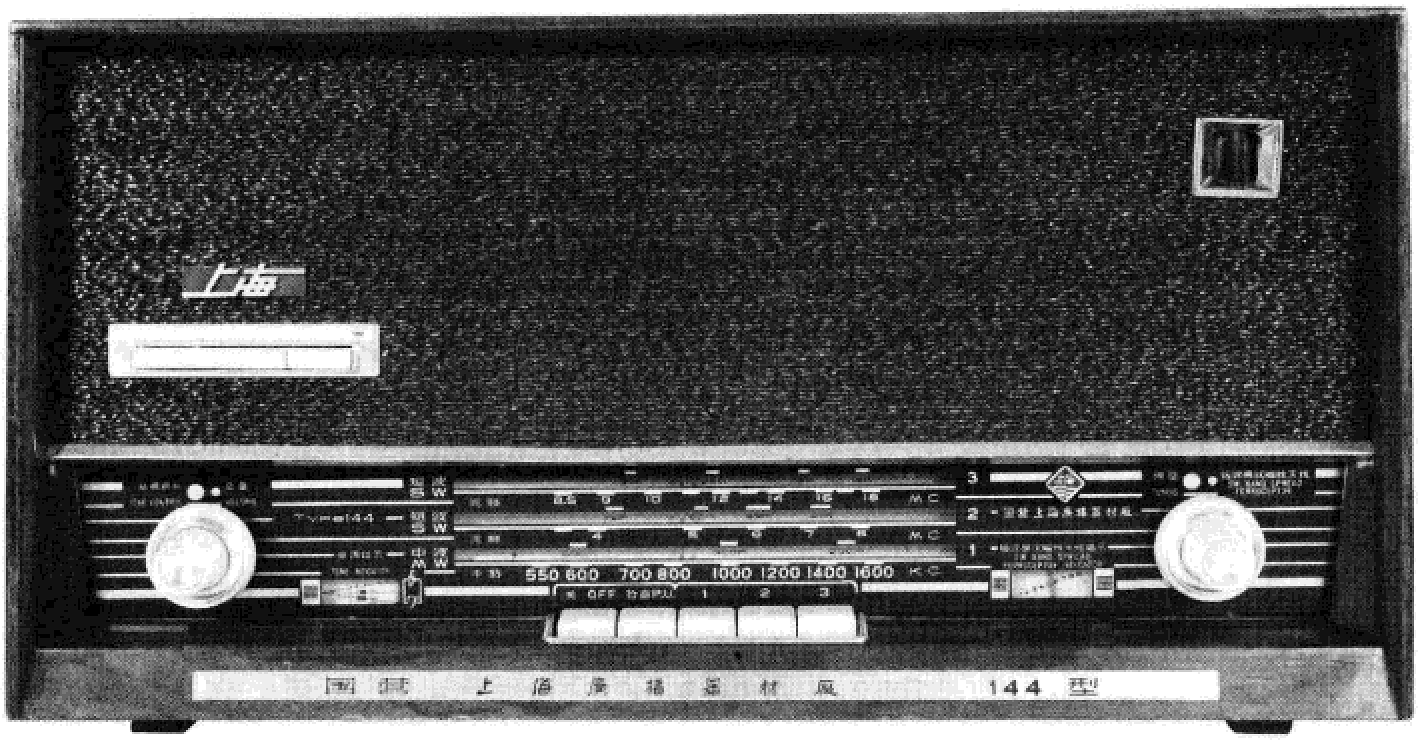
这是一本简明实用，查阅方便的电子管声频应用手册。对音响设备中常用的电子管进行了详细的介绍，包含简介、特性参数、最大额定值、工作数据、管脚接续图、外形照片等，凡在声频应用中的问题，诸如电子管的互换、选择及电路设计等都有翔实信息。书末所附图谱，有利于加深识别电子管的能力。

电子管能很好地重现音乐情感，因而一直被音响爱好者们所钟爱，即便在电子管已然淡出电子技术主舞台多年的今天，电子管在音响领域里仍有着它不可动摇的地位。

在浩瀚的电子管世界里，面对众多繁杂的型号，人们常有种无所适从之感，即使在音响领域用到的电子管，也为数不少，要对它们有全面的了解实非易事。诸如，同类管如何选择，使用时又该注意什么，这一切都会让爱好者甚至专业人士产生诸多困扰。爱好者当中流传的不少似是而非的观点和争议，更使大家一头雾水。

笔者在长期实践中，深感正确选用电子管，正确运用电子管，对整机的性能表现、可靠性以及寿命，都是至关重要之事。可现今在选择及使用电子管的问题上，存有不少的偏差甚至谬误，能作正确参考的资料并不多，尤其是电子管在声频领域里的大量应用问题，更是无处查找，常常产生许多不便，带来各种麻烦。

当今有关电子管应用的书籍很少，坊间个别电子管手册甚至参数有误植、管脚连接张冠李戴情况的出现。笔者有感于此，自2006年开始，陆续写了一系列电子管在声频领域应用方面的文章（刊登在《高保真音响》杂志上），诸同好觉得尚有实用价值，遂提议：“如增补充实成册，置于案头，方便查阅，必受欢迎。”由此，笔者对原稿作了全面修订，补充管型、增添数据，使内容尽可能充实，帮助大家认识电子管，并识别全盛时期的老管。本书提供了大量相关照片及说明，以期成为一本实用的电子管声频应用工具书。



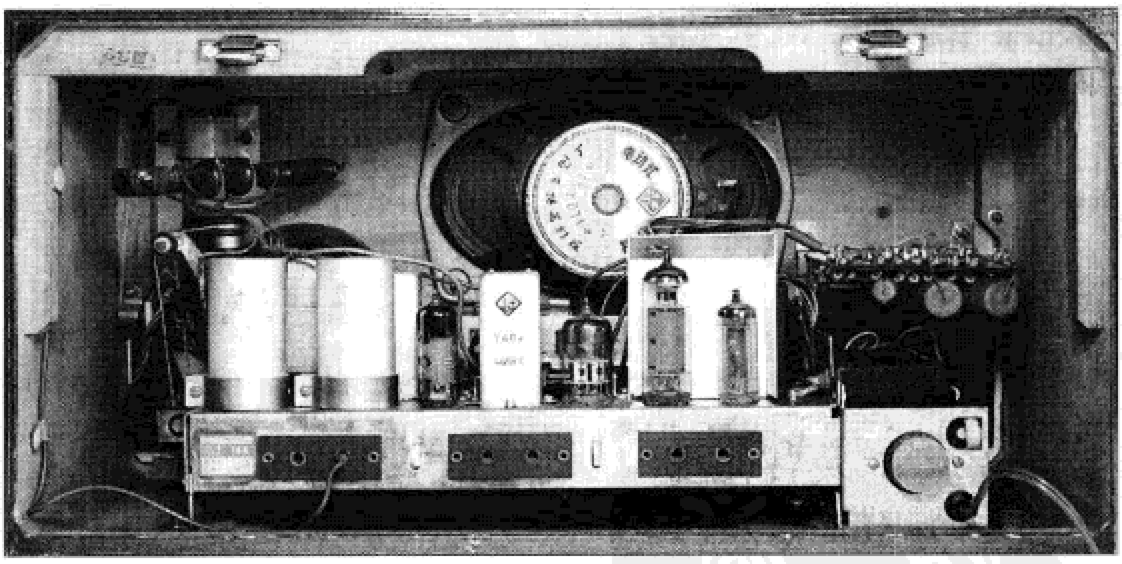
上海广播器材厂的收官力作
——上海144型电子管收音机

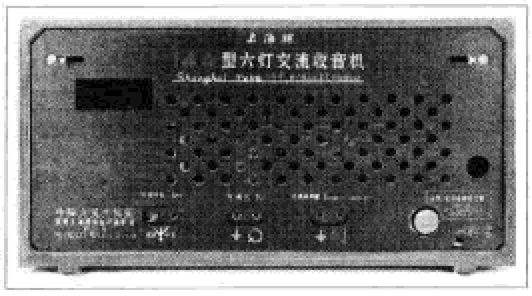
◎徐蜀　陈汉燕

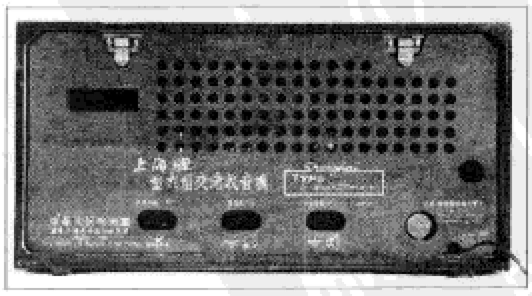
在林林总总的国产电子管收音机中，有两款机型的产量最高，生产时间最长，那就是上海144和红灯711（红灯711将另外撰文介绍）。144与711的电路、造型和工艺水平，在国产电子管收音机中当属中流之列，之所以有超乎寻常的表现，是因为两者都是转型时期的产品，合乎了时代发展的需要。

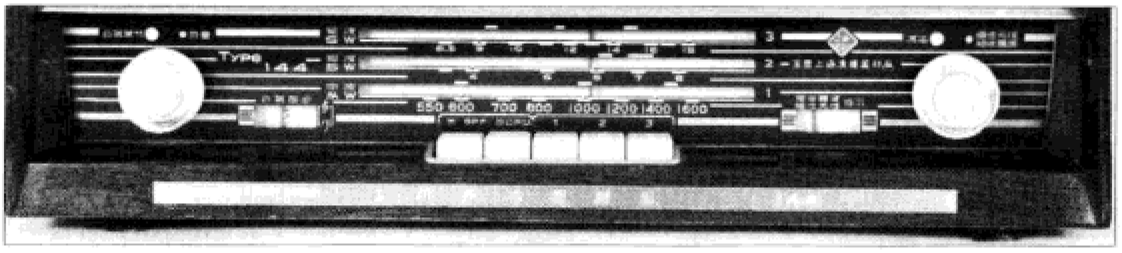
上海144型六灯电子管收音机上市于1964年的下半年或1965年初。其时，国产电子管收音机日新月异、高级机层出不穷的辉煌时期早已过去，实用、简约、廉价成为收音机设计生产的主流思想。当然，这种变化是大势所趋，欧美工业化国家更早就完成了这一蜕变。

以美国为例，20世纪30年代之前的收音机，属于古典时期，是时髦的高档电器、奢侈品，只有富人才能享用。收音机的设计者在机器的外观造型上花费了很大

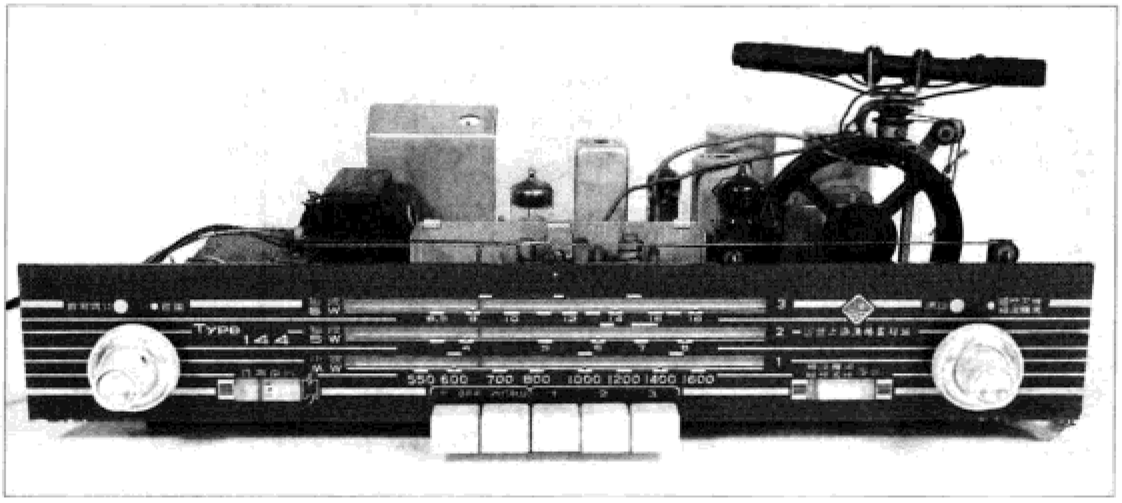

内部结构


普通背板

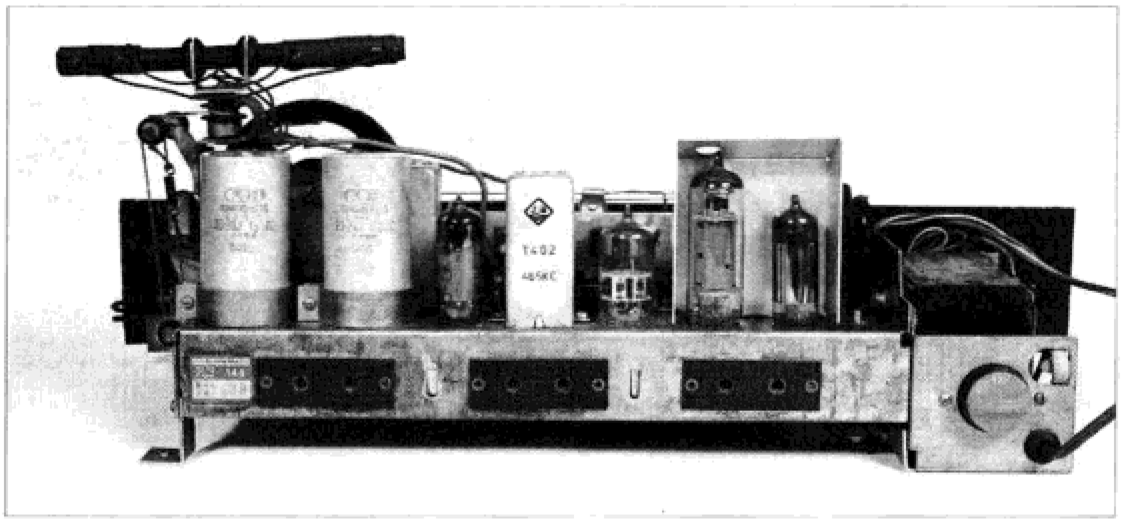

折叠扣背板



白汉字的144收音机



机芯正面



机芯后部

力气，使其富丽华贵以登大雅之堂。到了40年代，随着科技的进步，电子工业产品成本快速下降，广播日益与大众的生活息息相关，收音机家居摆设的功能逐渐退去，逐步成为单纯收听广播的工具。但是国力及科技稍逊一筹的欧洲，上述变化要晚一些。50年代后，欧美电子管收音机向简约方向发展的另外一个原因是晶体管收音机的快速崛起。

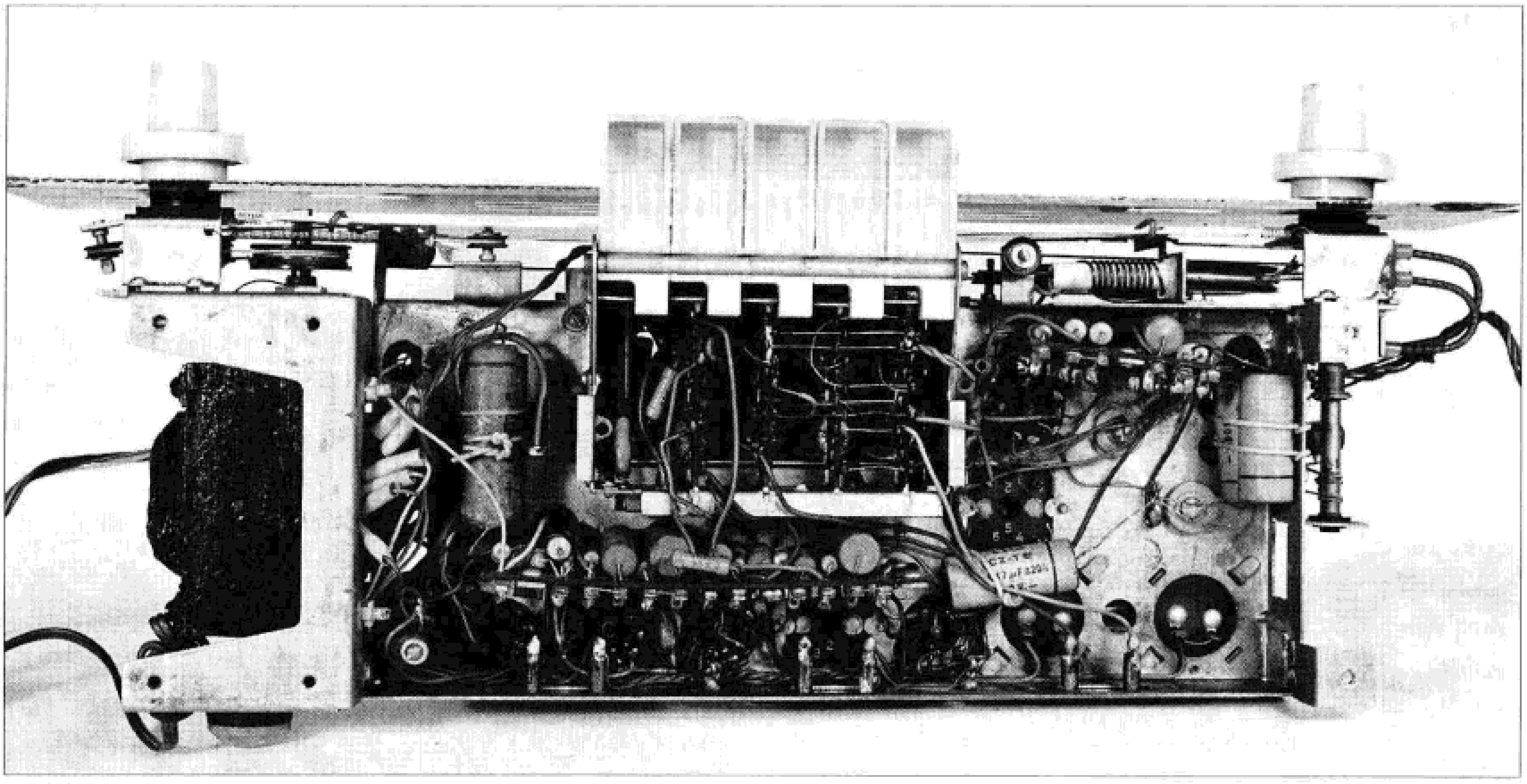
1949年之后的中国，虽然经济、科技相对落后，但欧美收音机发展的套路也大略经历了一番。50年代后期到60年代初，出于种种需要，三大收音机制造厂出品了一批外观豪华，装饰性强的大型高级收音机，如上海131、上海532、熊猫1501、熊猫1401、牡丹911、牡丹1201等。同时期的许多中档，甚至中低档收音机的造型也很讲究，机箱多为弧线形，结构复杂。同一品牌同一型号不同批次的机器就可以变换机箱样式，或重新开模做一套旋钮，似乎不用考虑成本。

三年自然灾害之后，有关部门对收音机的生产加强了管理，试图在保证收音机较高性能的基础上，简化外观造型，从而提高生产效率、降低成本。上海牌144型六灯电子管收音机就是在这一思想指导下诞生的。

144在电路设计上采用6U1变频、6K4中放、6N2低放、6P14功放、6E1调谐指示、6Z4整流的程式。其基本装备与功能：音调控制采用跳步式推键和连续微调的音调控制器，中波装有旋转式磁性天线，短波装有铝箔天线，并具有短波扩展及连续音调指示窗孔，能相对指示其变化情况。稍加注意我们就会发现，1962至1964年期间，与144电路基本相同的收音机已有不少（至多6N2变6N1、6P14变6P1、6E1变6E2而已，无实质性改变），如上海广播器材厂的160-3、161-1、161-2；上无三厂的美多66A、66B、66D系列，北京无线电厂的626、6201A、6204C（D）等。从外观造型看，上述收音机都要比144复杂，加工难度大，一些机器的重量也超过了144。从使用功能上看，144仅比牡丹6204C（D）多了磁性天线旋转和短波扩展指示而已，再就是音调控制多了推键调整。实际收听效果，机箱尺寸大了不少的牡丹机更好。但是，其他机器均为3级机，只有144是2级机。

上海144与50年代末的一级机上海131等相比，接收性能方面，应优于后者6A2、6K4和6H2的组合（虽然131是七灯机），功率输出也略优于后者的6P1，可调整的功能丝毫不少。144屈居2级的主要原因，一是只用了一只4×6的椭圆扬声器（131是高、低音3只扬声器），二是机箱的尺寸小了许多，机芯紧凑了，去掉了调谐机构的飞轮装置，且装饰性差了不少。

从以上两个方向的对比来看，在不同时期，有关方面对收音机在定级上的导向是有所区别的：50年代，对高级收音机的装饰性有着较高的需求，一级机非常重视外观与造型；1963年之后，则更强调收音机的实用性、接收性能，鼓励形式（外观）上的简约，并在评定级别时加以



底板下面

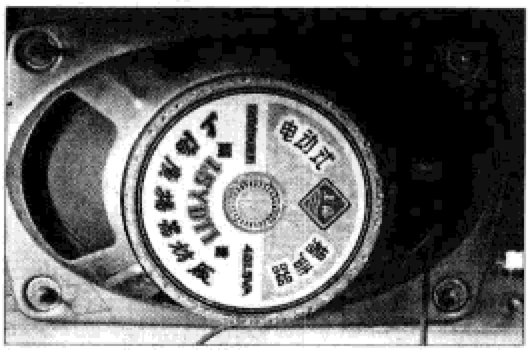
倾斜。

其实，上海144的变化，正如前面所提，是社会发展的结果，或者说是大势所趋，不得不变。1963年后，国民经济状况开始好转，大众收听广播的需求日益高涨，加快收音机的生产速度、降低成本，成为收音机制造厂家的当务之急。144最大的变化是机箱去掉了复杂的弧形曲线，全部改为直角，有利于机械化流水线加工，旋钮的造型也简洁了，不仅降低了成本，还增加了强度，不易损坏；就连猫眼罩的结构也简化为直角梯形。

性能优异、造型结构简洁，易于生产的上海144上市后，非常受欢迎，销售一路攀升，以至上海地区多家无线电厂先后加入其中，连续生产了10多年。根据笔者搜集的文献资料（购机发票），1982年国营百货商店还在销售144收音机。按照收音机的标识或说明书所述，上海144型收音机先后有上海广播器材厂、上海新华元件厂、上海金属工艺三厂、上海电子计算器厂和上海电视十二厂共五家生产厂家生产过。其中上海电视十二厂的产品为“红灯144”。而且，随着144的走红，其他品牌的电子管收音机基本上停止了开发新产品（仅上无三厂1972年推出了带调频接收的春雷101），原有机型也相继退出了市场。

上海144型收音机的种类非常之多，其中最明显的区别是：上海广播器材厂、上海金属工艺三厂的产品所用猫眼是6E1，其他厂为6E2。上海广播器材厂、上海金属工艺三厂的喇叭布多是单色加金、银丝装饰，其他厂为花布。上海广播器材厂、上海金属工艺三厂喇叭布上所缀“上海”标牌为塑料质地正书，其他厂为金属质地手写体（包括红灯144）。另外，红灯144的度盘为有机玻璃材质，上海广播器材厂一款黑拼音出口版144度盘也用的是有机玻璃，其他似乎都是一般玻璃制成。如果不考虑喇叭布的花色变化、机箱表面颜色的不同，只有上海广播器材厂144品种较多，其他厂子的品种则相对单一。以下对上海广播器材厂144的各种类型作一概要分类。

第一大类：国内销售产品。有黑拼音、白拼音、黑汉字、白汉字四种。

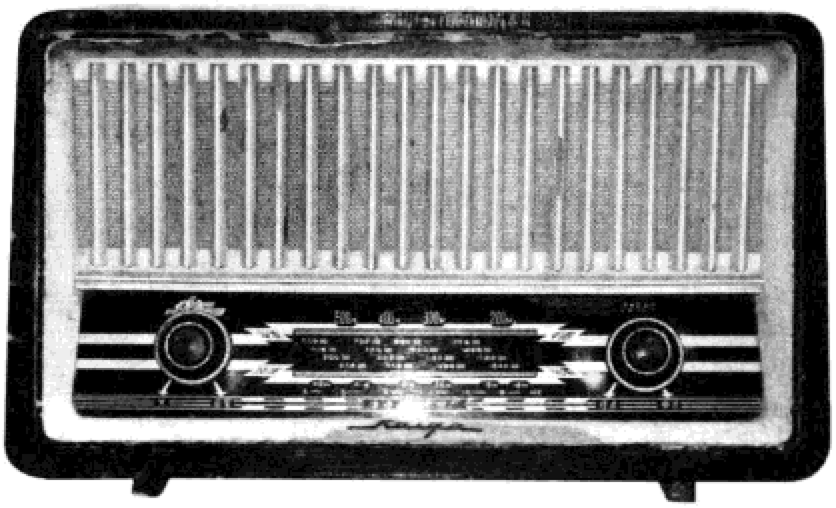


早期使用的扬声器

第二大类：出口型产品，有白汉字和黑拼音两种。出口型与国内版最大的区别在于，前者的后背板是折叠扣型，造型漂亮、使用方便，后者是普通的螺丝松紧划扣型，相对简单。

总体来看，上海144是一款实用性较强的收音机，是国产收音机转型时期的产品。此后，价格低廉、使用方便的晶体管收音机开始普及，电子管收音机江河日下，面临停产，然而红灯711应运而生，试图担当起挽狂澜于倾倒的重任，我们将另文介绍。

凯歌593-2型电子管超外差收音机修理手记



◎张全定

笔者是收音机爱好者和收藏者，对电子管收音机更是情有独钟，近来以30元的低价由废品收购人员那里购得一台旧凯歌593-2型电子管收音机。该机虽然年代久远，有些陈旧不堪，一些漆皮都已经掉了，但作为爱好者，笔者仍然觉得她多少还是有点使用和收藏价值的。该机生产于20世纪60年代，是当时在收音机生产领域很有名声的上海无线电四厂的产品。拿到这款收音机后，先彻底清扫灰尘，该机属于标准的五灯超外差式结构，其内部结构见图1，即：6A2变频、6K4中放、6G2检波兼前置电压放大、6P1功率放大、6Z4整流，可接收AM、SM两个波段。虽然有修理过的痕迹，但电路基本完好，可以通电试机。打开电源可以看到5只电子管灯丝全亮，半分钟后严重的交流声充满房间，且不随音量电位器的调整而变化，此时笔者反而欣喜万分，因为交流声的出现起码说明电源变压器、输出变压器、扬声器以及整流管、前置电压放大管、功率放大管全是好的，很超值了！不急，慢慢来。这时，笔者拔掉5只电子管，接通电源，这是为何呢？试想，该机肯定多年未使用了，为了安全起见，先对电源变压器进行空载通电，以驱走变压器内部的潮气，时间最少不低于24小时。此时笔者顺手翻开《电子管收音机 电子管录音机电路大全》这本笔者收藏多年的电路图集，哇，电路图就在其中，这下，笔者对修复这台机器的信心倍增，完全有了底气。

当收音机通电30个小时后，手摸电源变压器只有微微温升，属正常，进入维修程序。将底盘翻转过来放置，一眼就看到4只体积较大的纸介蜡封装电解电容器，查看原理图，电源滤波及退耦用了3只20μF/450V电解电容器，电压放大管阴极用了一只30μF/50V的。交流声非常严重且不受电位器控制的原因，应该属于电源滤波及退耦的问题，毅然决然将4只电解电容器全部拆下，用万用表测量，除30μF/50V那只还有一点容量外，其余3只均已干枯。这就是说，该机的电源是只有整流没有滤波，电源给整机提供的高压是100Hz的脉动电压（全波整流），交流声能不大吗？分析原因，由于电源上的3只电解电容器工作在高电压、大电流环境下，加之和降压电阻焊接在一起，电阻发热，长期工作在这样的条件下，而且数十年过去了，电解液干枯也在情理之中。电压放大管阴极用的那只电解电容器之所以没有完全失效，就是因为工作在低电压、小电流条件下，这个电容的耐压在图纸上标的是16V，实际用的是50V，但不管怎么说，纸介蜡封装电解电容器是那个年代的产物。由于质量低下，可靠性无保证，在市场上早已销声匿迹了。所以笔者在自己的零件库里找出4只相同规格的天和牌铝壳电解电容器，焊在各自原来的位置上，打开电源，交流声荡然无存。此时，手持镊子，由电位器中心头注入人体信号，扬声器中传出较大的“嗡嗡”声，且电位器可以控制，至此，电源部分、前置电压放大以及功率放大部分可以说已基本修复，可告一段落。

笔者平时无论是装机还是修理机器，喜欢遵循由后向前这一习惯，所以接下来就轮到查看中频放大和变频级。按照常理来分析，一台收音机的电子管损坏几率最高的当属整流管6Z4和功放管6P1，因为这两只管子的负荷是最重的，其他管子损坏的几率相对低一些。既然整流管和功放管完好无损，那么中放管和变频管也应该不会损坏。实践证明笔者的判断是正确的。不过令笔者最担心的是中频变压器的4个磁芯，它们有明显被人拧过的痕迹，这是笔者最不愿看到的。因为不管是电子管收音机还是晶体管收音机，一旦中频变压器调乱了，这对维修者带来的麻烦是广大爱好者共知的。用万用表分别测量两个中频变压器初、次级线圈，都导通，起码说明没有断路。开启电源，将波段开关打在中波频段。根据平时经验，手持镊子分别触碰双联电容器的两组定片，发现一个声音大，另一个声音小，由此判断中波本机振荡电路没有工作。测量两管各引脚的电压，中放管几个引脚电压基本正常，变频管屏极电压同电源电压，说明该管未组成通路。再将波段开关打到短波段，变频管各引脚电压均恢复正常。拧动双联，能收到少数几个强台。断电，进一步检查中波振荡线圈，果然有断线。由于变频管的阴极是通过振荡线圈与地相接，振荡线

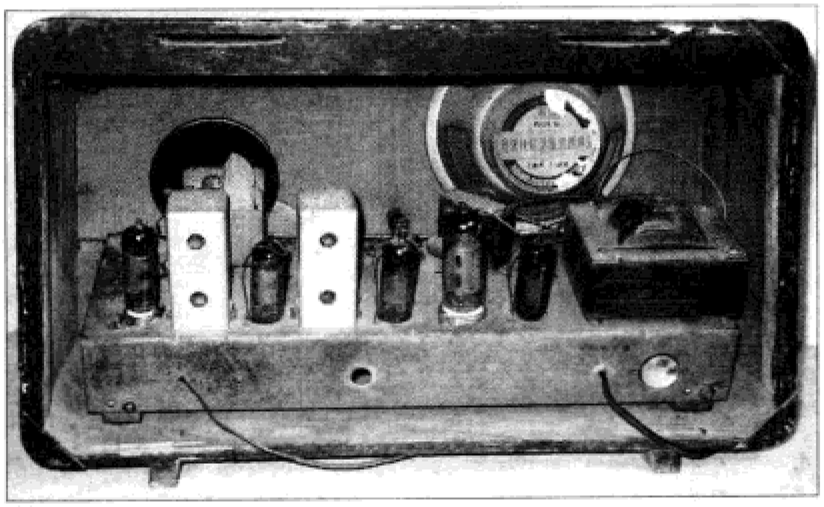


图1 内部结构

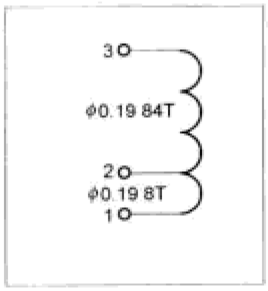


图2 振荡线圈参数

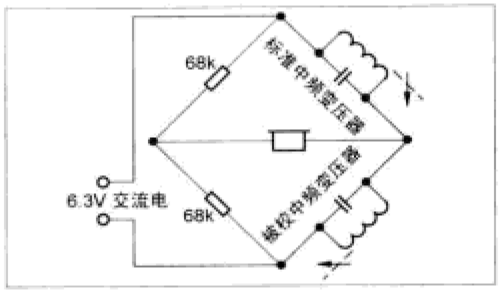


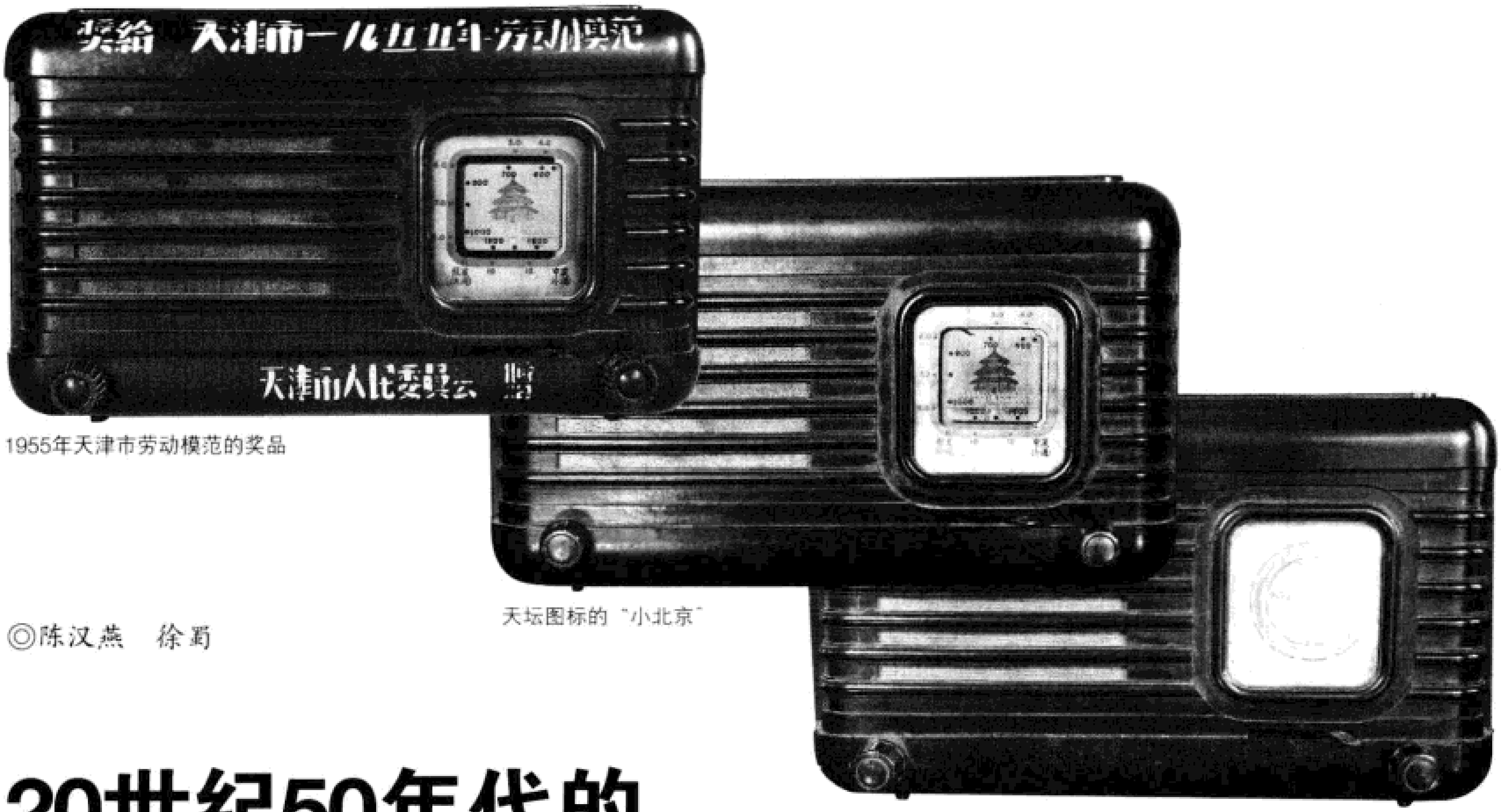
图3 调校中频变压器示意图

圈断路，则变频管阴极悬空，没有管流，故屏极电压等同电源电压。故障基本查清，只待动手排除。

成品振荡线圈在目前市面上很难买到，要购到原机配件更是难上加难，无奈只有将损坏的振荡线圈小心地拆下来，它属于蜂房式绕制，用的是纱包线，带有可调磁芯。笔者用小镊子慢慢拆卸线圈并记下圈数和绕向，虽然线圈有几处霉断点，但圈数还是能数清的。拆完后算出共有92圈，抽头在84圈处。由于该机采用的是典型的三点式振荡电路，振荡线圈虽然很重要，但结构简单，共3个头，圈数也不是很多，所以笔者决定重绕。用0.19mm的高强度漆包线（纱包线更好）在线圈骨架上原来的位置按照原来的绕向绕92圈，在84圈处抽头，见图2。绕完后用蜡封灌，再放回原来的位置，3个头的具体连接为：①脚接地，②脚接6A2管阴极，③脚接双联，拆卸时最好做一个笔录。当确认本机振荡已经工作的前提下，再对整机进行统调。在没有专门仪器的情况下，统调比较麻烦，但只要想办法并精心操作，调出来的机器完全能够达到或接近原设计要求。笔者分两步调整：先调中频变压器，中频变压器已经被调乱了，要将2个中频变压器的4个线圈都调准到465kHz，的确不是件容易的事情，但只要认真对待，办法总比困难多。由于笔者还收藏了几台电子管收音机，将其中一台商品机的中频变压器很小心地拆下1只（用完还要还原），作为标准件，按照图3所示的电路拼装，因电路不复杂，很好装配，2只阻值选10～100kΩ均可，这里要求2只电阻的阻值相差越小越好，最好用数字万用表挑选，装好后通电，耳机中即有交流声。利用电桥的工作原理，用无感起子，笔者是用竹筷削成的，细心地拧被校对的中频变压器（中周）接入电路的那只线圈的磁芯，拧到耳机中的交流声消失或最小，这时被校对的那只中频变压器的线圈和标准线圈就一致了。依次将该机的2个中频变压器的4个线圈都校对一遍，至此该机的2只中频变压器可以说基本调到了465kHz了。将中频变压器放回原处并焊好。通电试机，短波段完全正常，这是因为短波的天线线圈、振荡线圈用的线都很粗且圈数很少，没有霉断现象，所以频率覆盖也不会存在问题，加之中频变压器已基本校准，故短波段的调整可以说基本免去。这下轮到调整中波段的频率覆盖了，好在该机的天线线圈虽然也是蜂房式绕制，但完好无损，属于原装器件，对跟踪调整提供了方便。利用广播电台提供的信号，先在中波段的低端收到一个台，笔者所在地收的是540kHz的中央人民广播电台，此时，笔者还是用无感起子，慢慢地旋转刚绕好的那个中波振荡线圈的磁芯，使声音最大且好听；再在高端找一个电台信号——1566kHz，比较弱，晚上能好一些，然后用起子慢慢拧动天线线圈次级连接的那只微调电容，使声音最大，再拧动中波振荡线圈并联的那一只微调电容，使声音更大一些。因为高端和低端也互相牵制，反复多调几次便可兼顾。频率覆盖调整好后，再回过头来微调一下中频变压器，收到一个经常听的电台，音量放在中等位置，最好将中频变压器的磁芯位置做一个记号，用无感起子由后向前逐个慢慢做小幅度的左右转动。如果拧的那一只磁芯，作用不明显，可再拧回到原来的位置，4个磁芯反复微调，直至声音大而没有失真且好听，此时用蜡将中频变压器以及振荡线圈的磁芯封住，这样做既防潮又能将磁芯固定住，以防频率漂移。

经过笔者这样精心检修，这台收音机可以说完全焕发了青春，电子管那种特有的、使人一听就难以忘怀的音色，是半导体收音机无论如何也无法比拟的。

最后还有几点需要向爱好者交代：（1）音量控制电位器由于长期旋转磨损，致使噪声相当严重，笔者将其拆下，用无水酒精将马蹄形碳膜滑板清洗干净，再涂少许缝纫机油，以增加其耐磨性，复原装回原处，不但噪声无影无踪，旋转时的手感也好了许多。（2）按照当今Hi-Fi理念，笔者将两只耦合电容换成德国红色威马音频专用电容，特别是将功放级的耦合电容器用了0.1μF/400V（原用0.01μF/400V），这样不但使声音更加悦耳动听，更重要的是低音有了明显的提升。（3）早年的电子管收音机在电阻的选用上大都以碳膜电阻和碳质实心电阻为主，该机也不例外，这两种电阻都属于温暖型，用在这里十分合适，切不可换成金属膜电阻，那样将会使收音机的胆味大打折扣。（4）由于当今的电源严重污染已成为不争的事实，笔者为应对此种情况，为该机专门配了一只隆宇牌电源净化器，对由电源串入的干扰有一定的抑制作用，但必须指出的是它对一些电磁波干扰，如有的节能灯、防盗摄像头等的电磁波辐射是无能为力的。



1955年天津市劳动模范的奖品

天坛图标的“小北京”

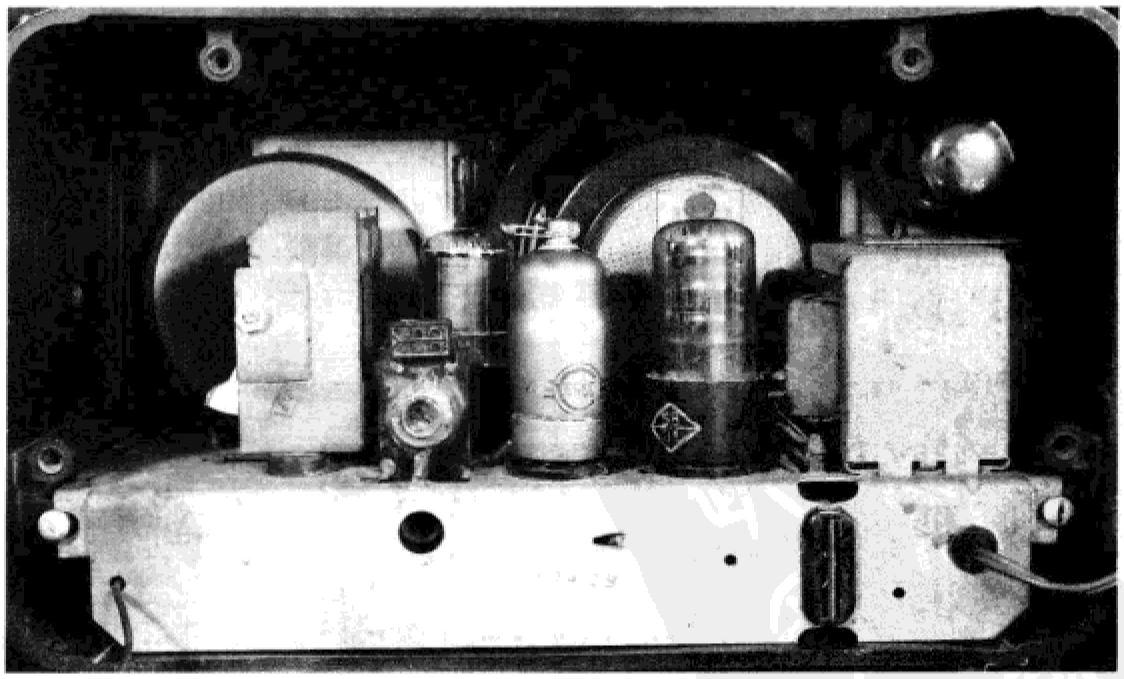
广播发射塔图标的“小北京”

◎陈汉燕　徐蜀

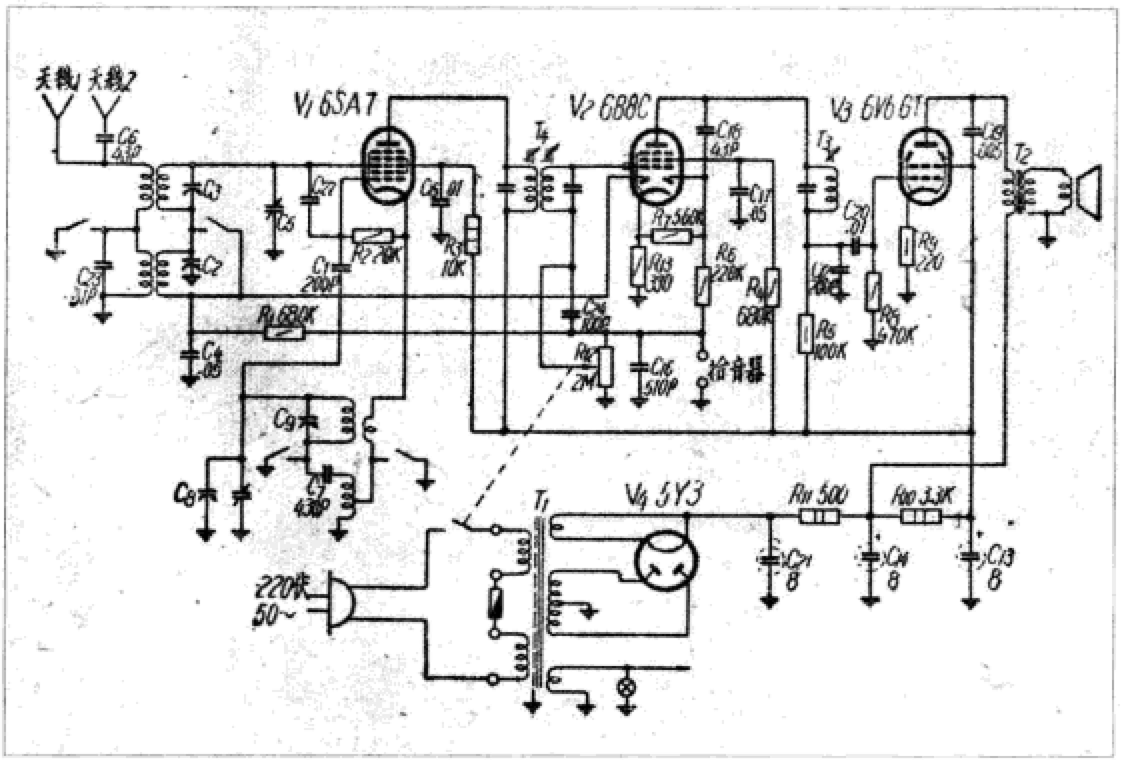
20世纪50年代的大众收音机——“小北京”

“小北京”，是天津无线电厂生产的北京牌四灯收音机的俗称（大概由于体积小的缘故）。“小北京”于1955年面市，因物美价廉，很受普通老百姓的欢迎。这也难怪，“小北京”的原型机“莫斯科人”，在前苏联时期就是销量极高的普及型收音机。需要指出的是，天津无线电厂似乎偏爱小型收音机，建国初期，其前身“中央电工二厂”便利用民国时期遗留的美国收音机散件，生产了大量小型铁壳五灯收音机。此类铁壳收音机的尺寸与“小北京”差不多，至今在华北地区还经常能够见到。

“小北京”虽然源自“莫斯科人”，但入乡随俗，产销两旺，也成了一代名机，是国产收音机历史中重要的一个品种。“小北京”采用胶木机壳，结实耐用，这是它得以大量保存下来的一个原因。当然，由于体积小，又采用大型电子管，散热不好，机壳变形也在所难免。该机4只电子管分别是6SA7作变频，6Б8C作复合管兼任中放、检波、低放，6V6作功率放大，5Y3作整流。此机的亮点在于一只6Б8C复合管替代了通常的6SK7和6SQ7两管的功能。“小北京”灵敏度高，声音洪亮，性能不亚于一般的五灯收音机，而且价格相对低廉，在20世纪50年代售价在70多元，因此很受普通百姓的欢迎。要知道，1957年一台红星504



内部结构



“小北京”收音机电路图（老资料）

型五灯收音机售价要140多元呢。同时期的三灯再生式牡丹103型收音机也要70多元。103的性能当然不能与外差式的“小北京”相比。

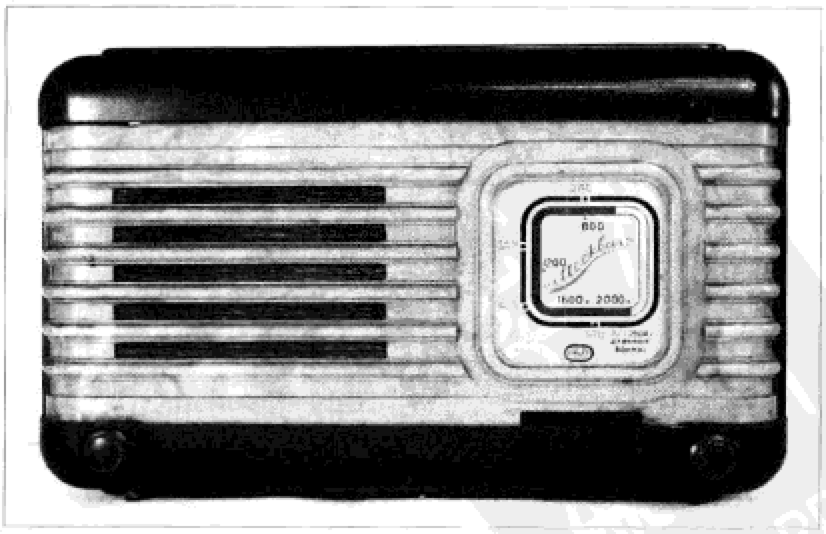
“小北京”从1955年开始生产后，变化很小，这与其他跨时代生产的老收音机不大一样。比如上海155、156、157、158系列，红星、熊猫系列，牡丹系列等收音机，初始时期是大八脚电子管，后来随潮流都改成小管。大改小还是很容易的，但“小北京”坚决不改，也许是那只6Б8C管不好处理。实质性的改动，“小北京”只有一样，前期的小磁铁钴磁扬声器，后来换成大磁铁的恒磁扬声器。这是因为前者不再大量生产了，即使有，价格也很高，不得不改了。

“小北京”外观的变化主要是度盘的图案。最早是天坛图标，后来又有广播发射塔图标。据我观察，1955、1956 年生产的多半为天坛图标，1957 年开始就基本上采用发射塔图标了。钴磁扬声器好像用到 1957 年，此后就是恒磁的了。钴磁扬声器是上广电的 51 型，恒磁则是华北无线电器材联合厂的塑料支架扬声器，型号是 YD1-3。收音机其他内部结构，前后期基本相同，但在细节上后来似乎不如前期的认真严谨。如整流管支架，后期就少了那根斜柽，胶木壳的质量也要粗糙一些。

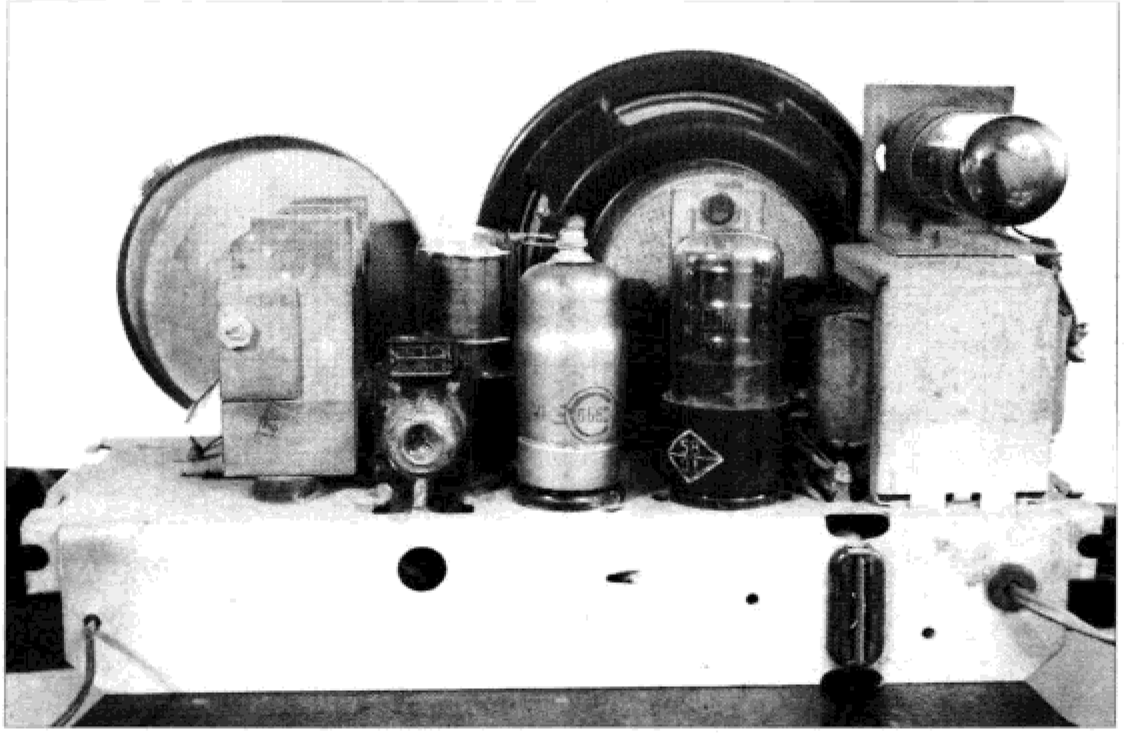
我手中的“小北京”，我比较喜欢的有3台。第一台是1955年生产的，也就是“小北京”面市当年的产品，度盘是天坛图标，扬声器是上广电51型钴磁。6Б8C用的是OTK进口管，此管当时可能还没有国产品。这台“小北京”还是当年天津市奖励劳动模范的奖品，1996年购于潘家园地摊，天津老乡要价100元，最后80元成交。第二台是1956年的产品，情况与前一台差不多，天坛图标非常漂亮。何时购买、多少钱，都不记得了。1957年改为发射塔图标，但仍旧是钴磁扬声器。1958年为发射塔图标，扬声器换成华北无线电器材联合厂的恒磁了。而且这个扬声器是华北厂早期的产品——扬声器背板的固定螺丝是凸出在外的，这也就无法贴商标了，固定扬声器的方式也与其他“小北京”不同。50年代不少收音机用的都是华北厂这类螺丝外凸的扬声器，如牡丹911、1201等。

第三台“小北京”，是1959年以后生产的产品（1959年后的“小北京”我

中央电工二厂生产的铁壳收音机



“莫斯科人”收音机



机芯背面

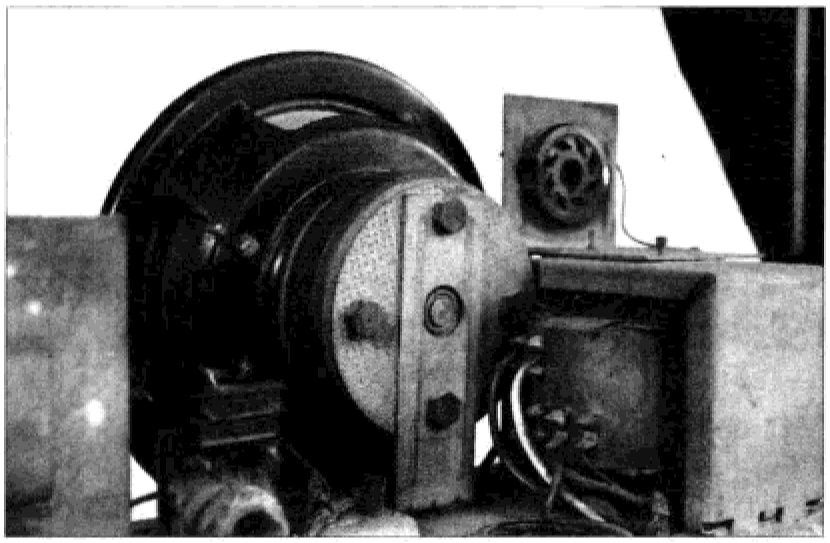
没见过标注生产日期的，不知是否不标了）。广播发射塔图标，后期的恒磁扬声器，盖板螺丝已不外凸，整流管支架省去了斜栓。另外，此机胶木壳的质地粗糙，大概生产于困难时期。不仅机壳质量差，后背板字迹也模糊不清，有点像DIY的，但仔细看又不是。不过，这台机器也有它的可爱之处。首先，它的品相非常新，其次，它是偏红色的机壳，比较少见；再次，它的扬声器是华北无线电器材联合厂（即后来的797厂，出品鸿雁牌扬声器的名厂）生产的，胶木支架，带有标签（该厂早期的扬声器经常没有标签），保存的也很好。

我家与“小北京”似乎有缘。

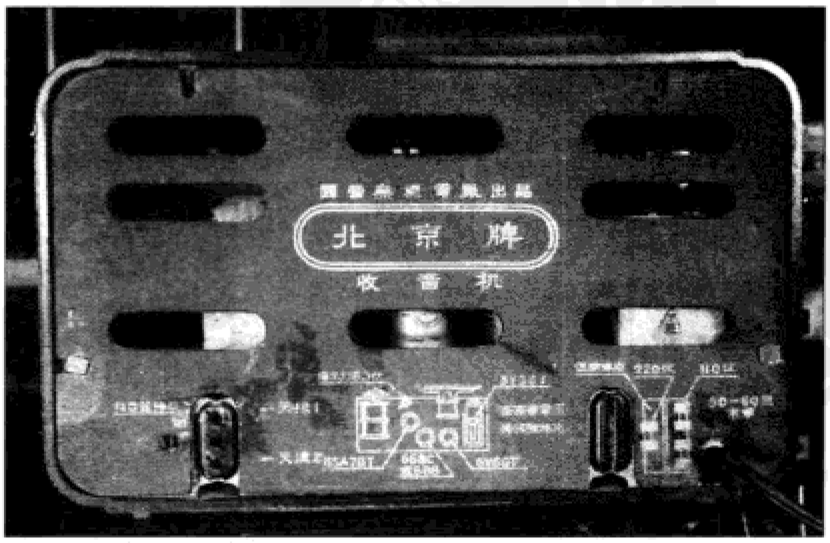
我上小学2年级的时候，班上有位同学写的一篇作文被老师看中，在课堂上宣读。作文的大意是：该同学一天中午放学回家，刚走到大院门口，就听到院子里传来阵阵歌声……原来邻居家买了一台收音机，后来，这台收音机为全院的大人，小孩带来了无比的快乐。那台收音机就是一台“小北京”。

“小北京”在京津一带使用甚广，以至我们80年代开始收藏收音机后，在旧货市场、委托行等地方，经常能见到它的身影。1992年，我的单位周边开始大拆迁（朝外大街一带）。一天我下班还没走出胡同，就碰到一位收废品的老乡，他拿着一台刚收到的小北京在那里端详，说是4块钱收的。几经砍价，我花6块钱把“小北京”买了下来。90年代，我爱人每天下班路过黄城根旧货市场，也接二连三往回带收音机，“小北京”有十好几台。一段时间里，我家收听广播都用“小北京”，不响了就换一台，反正多的是。早先买的老收音机多数都还能使用，因为那时刚刚开始淘汰电子管收音机，时兴半导体，收音机保存得都很好，不像现在那样，大多进了垃圾站。再后来，“小北京”就成了我家赠送朋友的礼品。经常有同事附庸风雅，向我们要老收音机摆放在家中，我们多数都给“小北京”。

天津无线电厂还生产过少量木制机壳的“小北京”，只是把波段开关从前面移到了背面。由于产量低，易损坏，保存至今的为数不多。1958年后，天津无线电厂推出国产第一台电视机后（也是北京牌），其民用无线电的研制重心转移到电视机方面，未再开发新的收音机产品。

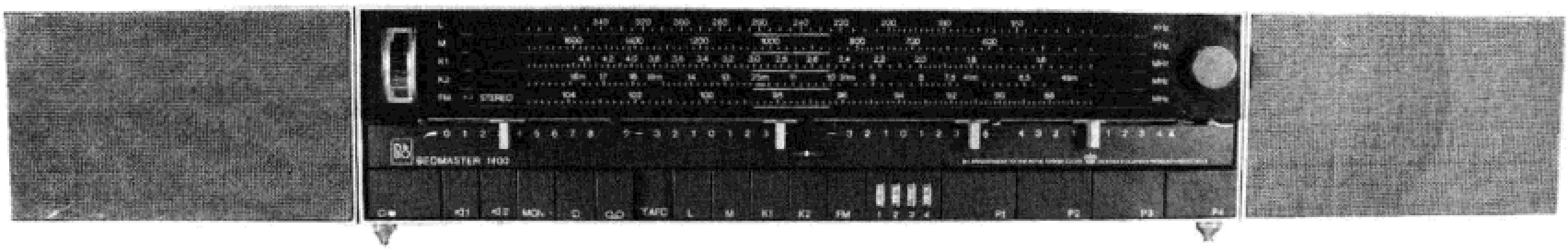


早期生产的“小北京”收音机的扬声器



“小北京”收音机的背面

一款精益求精的收音机



——BeoMaster 1400K

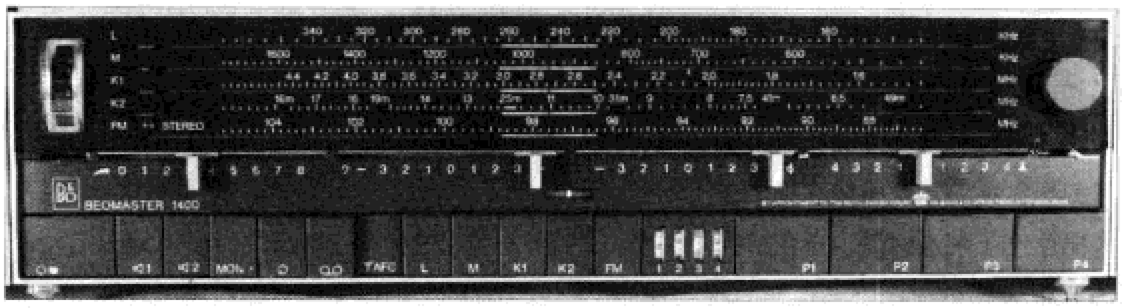
◎陈祖德

丹麦Bang & Olufsen公司是国际著名的家电设计和生产企业，它生产的家电产品在国际市场上走的是高端路线，其价格是其他同类产品的数倍，所以一般家庭难见它的踪影。

本文介绍的这款BeoMaster 1400K是Bang & Olufsen公司在1967—1970年生产的一款高级收音机，设计者是Henning Moldenhawer。该机上市后满足了一群高端听众对收音机的苛刻要求——低噪声、高音质。

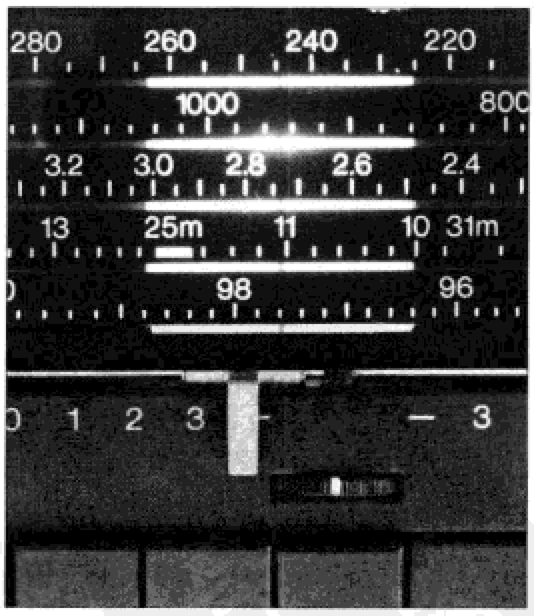
该机的外部尺寸是：744mm（长）×252mm（宽）×112mm（高），两边有一对连体音箱（还有一款型号1400M则不带音箱）。机壳是用纯红木制作的，而非一般复合板贴皮。机器内部是用铝合金压铸加工的框架结构，后面巨大的铝合金散热片把机器连成一体。内部电路全部设计在一块印制电路板上，元件根据电路的走向排列得非常整齐。全机共用了41只晶体管，电路设计达发烧级水准，音频输出功率15W X 2，功率放大管用的是当时最好的金封功率管。附带的两个音箱采用的是全密闭气垫式结构。

为什么说此款机器是精益求精呢？



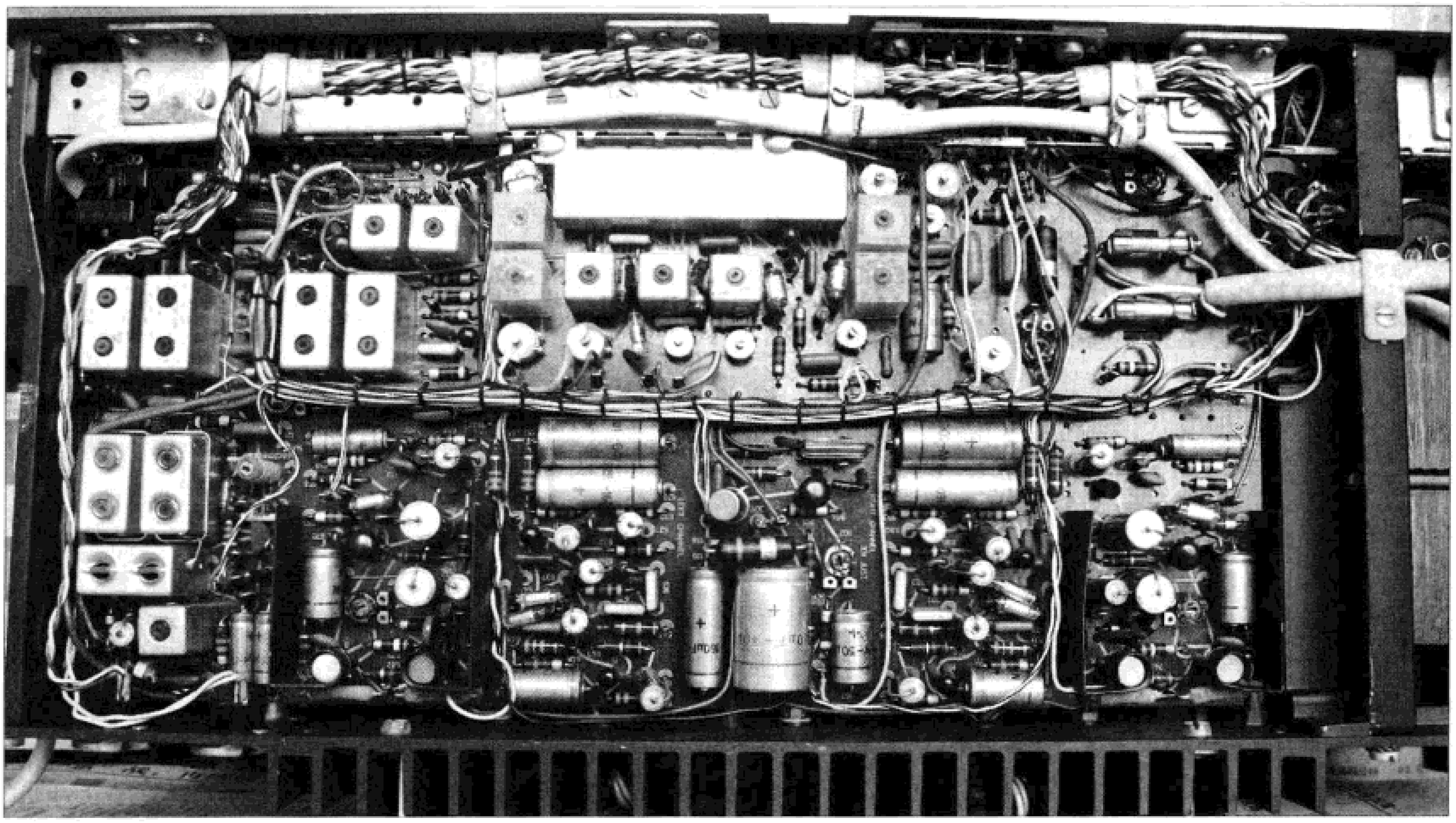
调谐面板

各种输入插口

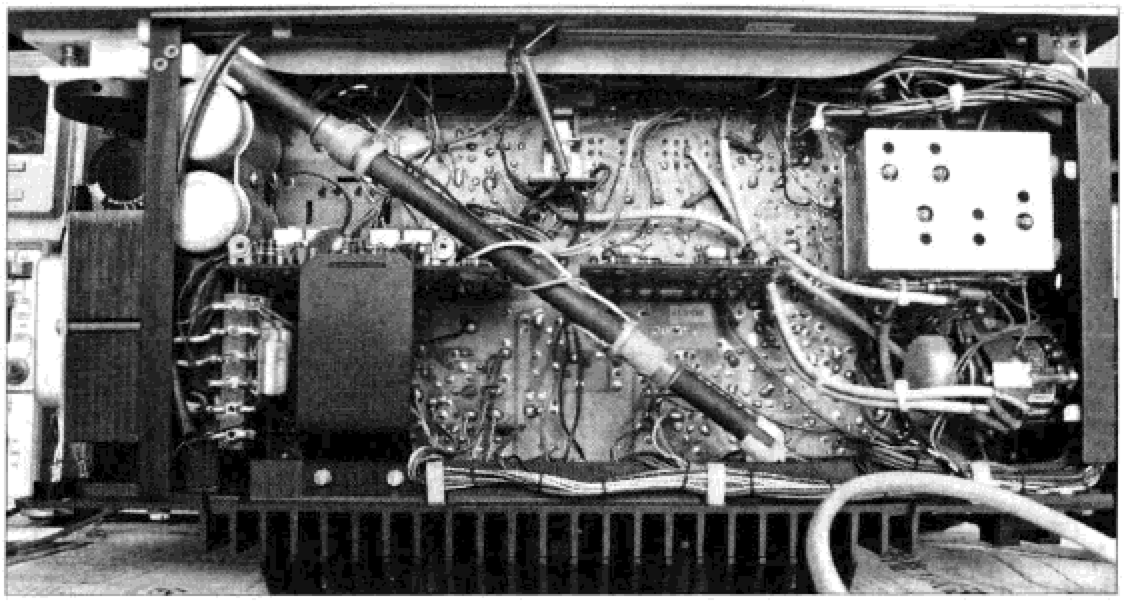


在调谐状态下的面板

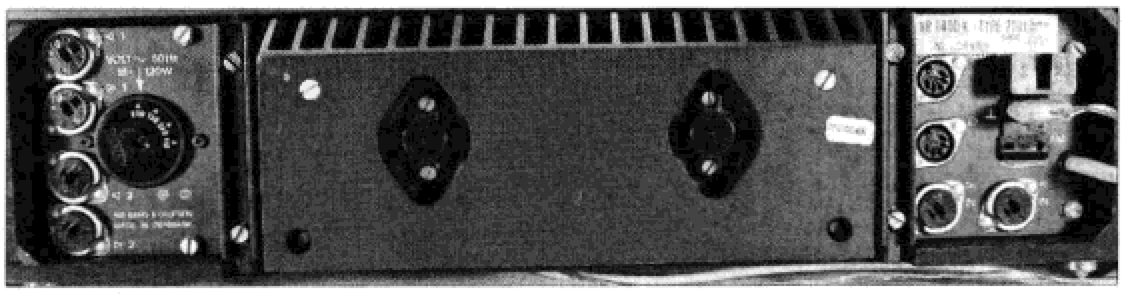
这是从机器的整体用料和设计细节来评定的。如：推拉电位器上的滑块不是像一般机器那样套在电位器杆上，而是设计了一根滑动轴，滑动部件还带轴套，这样就不



整机电路板正面



整机电路板反面



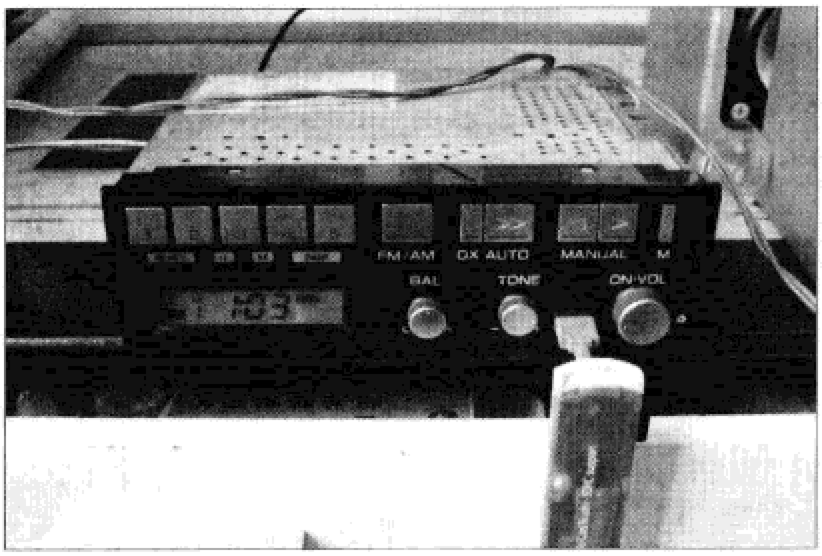
整机背面

会使电位器在使用中受到很大的推拉力，减少了电位器上电阻薄膜的磨损。机器内部电路的布局非常整齐，所用部件都采用的是知名品牌。最值得看好的是该机的功放部分，完全是Hi-Fi功放的配置。

全机有5个波段:LW（150~340kHz）、MW（550~1600kHz）、FM（88~104MHz）、SW1（1.5~4.4MHz）、SW2（6.5~18MHz），FM还带有4个机械存台装置。机器可以外接音源和外接音箱，这样使机器增加了许多不同的玩法。

此机器是从丹麦购买的。到家后，简单清洁了外表就通电试机。打开电源开关，立刻在度盘上显出一小块亮光。随着调谐旋钮的转动，亮光也随之移动，非常特别。当调到电台时，温暖动听的声音从机器两边的音箱中传出。虽然这是一款晶体管的机器，但是发出来的声音与电子管的机器区别不大，这就是Bang & Olufsen公司的过人之处。

◎吴金贤

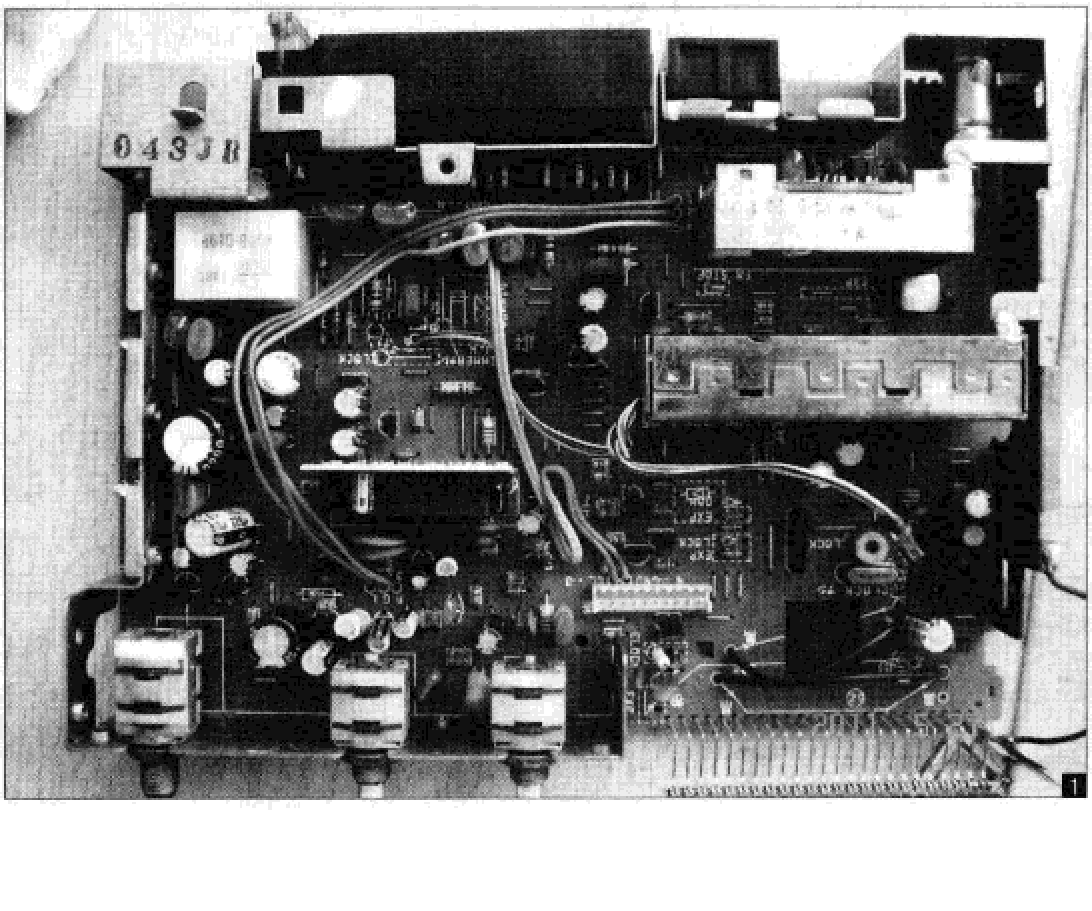


歌乐车载收音机加装MP3功能

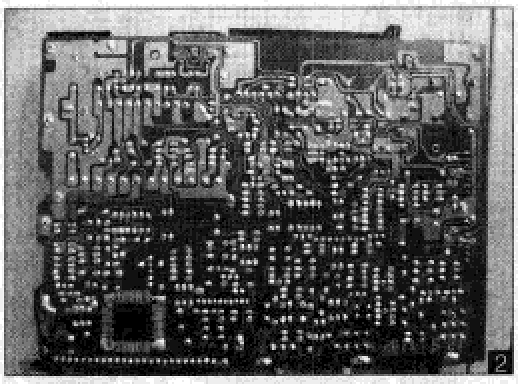
说起车载收音机（以下简称车机），很多人一定会马上想起很多年前风靡一时的道奇收音机，那时相关的报道也是铺天盖地，这可以说是一个传奇，笔者也是在那个时候深深地喜欢上了车载收音机。随着时间的推移，当中也玩过不少的车机，功能从早期单纯的收音、卡座+收音、CD/DVD+收音，到现在的大屏幕TFT液晶显示带导航的多媒体控制中心。

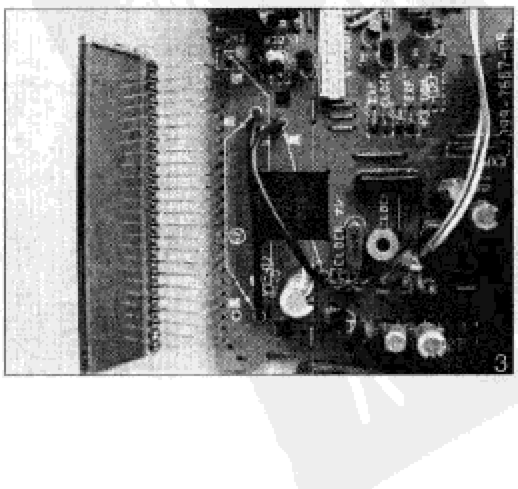
回头听听那些被称为古董的纯收音或者带卡座的收音车机，发现这才是我想要的声音，音质醇厚，模拟味十足。什么原因呢？就说说收音部分吧，高频头、鉴频、立体声解码都用独立IC，用料都比较扎实，不像现在的车机普遍都是一个高频头内整合了AM/FM的所有功能，且用一两个IC就完事了，鲜有性能好的。但是由于这些古老的车机除了收音以外，别的功能如卡座都已经用不到了，于是笔者就有了一个想法——加装MP3播放功能，结合原来的放音系统可谓如虎添翼，让那些古董车机青春焕发。最近在网上求得一台尼桑车上的歌乐纯收音车机，就打算动手把上面的想法变成现实。由于这个车机出生的年代比较久远，机身及内部积了不少灰尘，于是决定先对其进行彻底清洁。具体步骤在此省略。

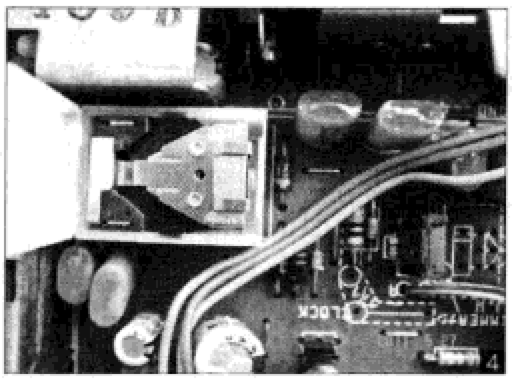
下面是清洗后完成后的靓照，供大家鉴赏。

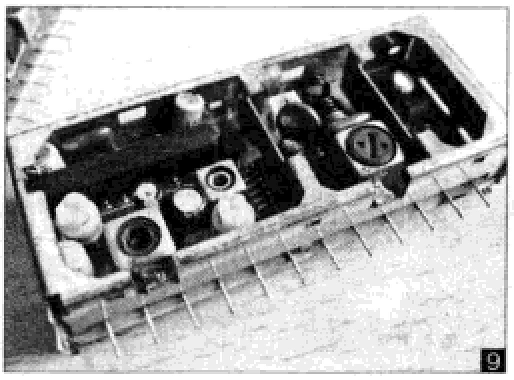


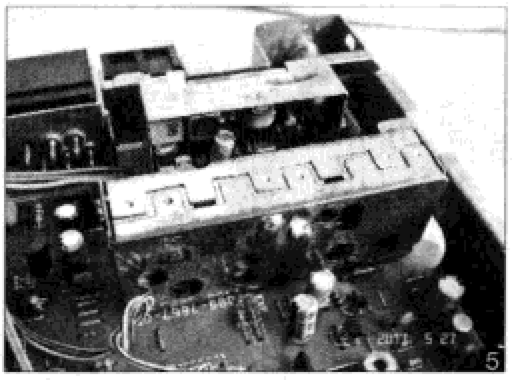
1

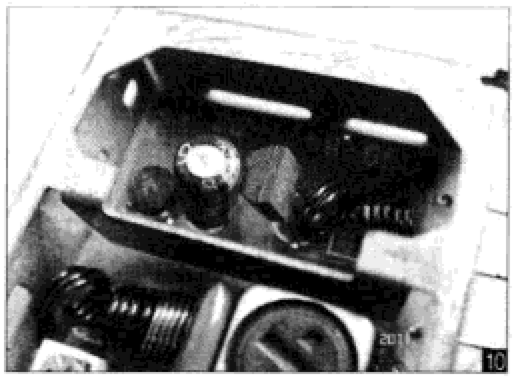

2

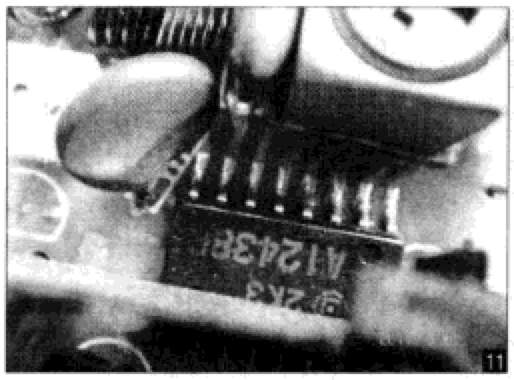

3

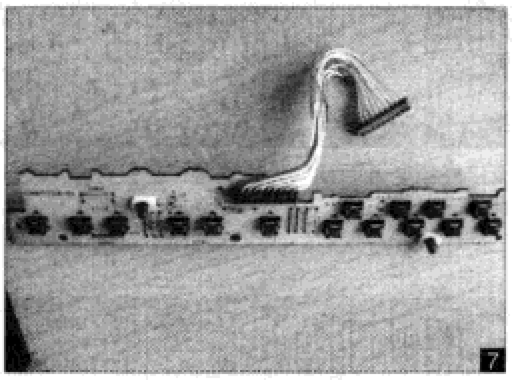


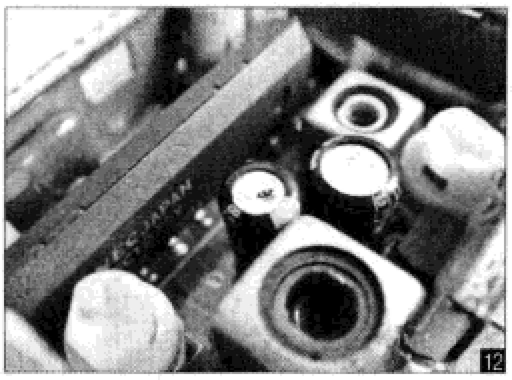


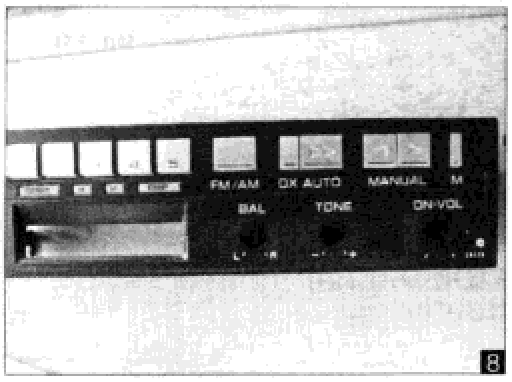


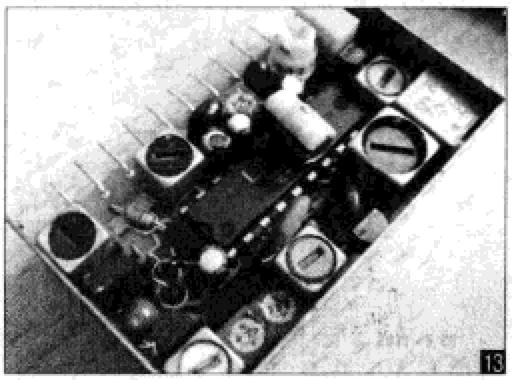












1 主板整体，右边两个铁壳分别是AM/FM高频头。

2 主板PCB背面，仔细看发现好几个虚焊、脱焊的焊点，够古老的……

3 主控芯片和液晶屏

4 电源部分采用继电器控制，由于内部进水，于是打开用电吹风吹干。

5 前面的是FM高频头，后面半屏蔽的是AM高频头。

6 中间竖立的浅绿色模块十分显眼，这就是FM立体声解码器，采用LA2110+LA3376的经典方案，让人惊讶的是居然用到了陶瓷基板的PCB，可谓重量级设计。

7 下面是面板PCB。

8 面板采用金属按键，年代这么久远，依旧十分光亮，且手感极佳。

9 FM高频头，一体化设计，高频部分和中放鉴频部分做在一起，中间用铁壳屏蔽，用到两只TDK10.7S的陶瓷滤波器，并采用三联调谐设计，变容管是1SV103。

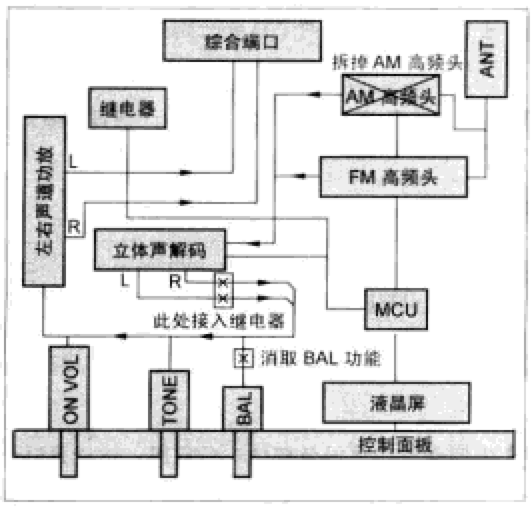
10 FM高放用到了双栅极场效应管，极大地增强FM收音的性能。

11 中间这个芯片A12438B，没能找到资料，估计是FM专用的高频调谐混频之类的芯片。

12 鉴频部分采用μPC1245V，IC内置3级中频放大，输出部分电容采用黑金刚BP电容。

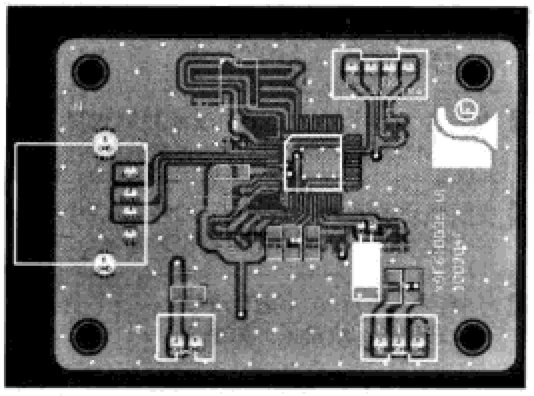
13 AM高频头采用LA1135专用芯片，此芯片在老一代车机中比较常见，如道奇。

鉴赏到此完毕，下面谈谈如何加装MP3功能。经过笔者研究，无AUX功能的车机从AM收音部分入手乃最佳方案，车上AM无收听价值。把AM部分隔离或者拆除，然后找到控制端。一般AM/FM相互切换时主控芯片某个脚肯定会有高低电平变换或者有电源供电变换，此车机AM/FM是分开供电的，也就是说切到FM状态下AM部分不供电，反之亦然，这样就可以使用此功能并加以改造，通过按AM/FM键实现控制继电器，在FM和MP3输入之间进行切换。简单地说就是增加一个AUX功能。当然，如果是带卡座的车机，也可以从卡座入手，道理是一样的。

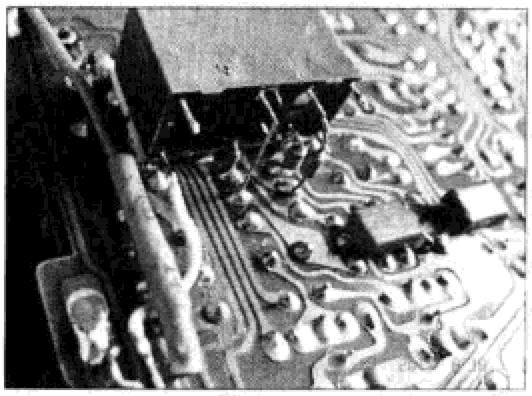


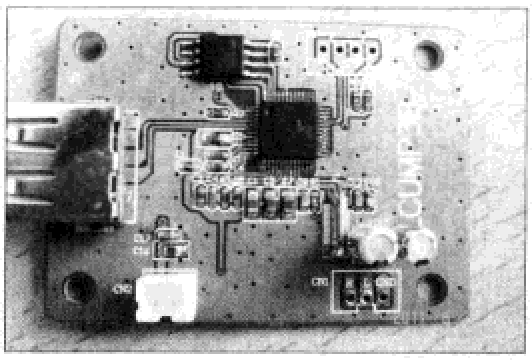
歌乐车机结构及改造示意图

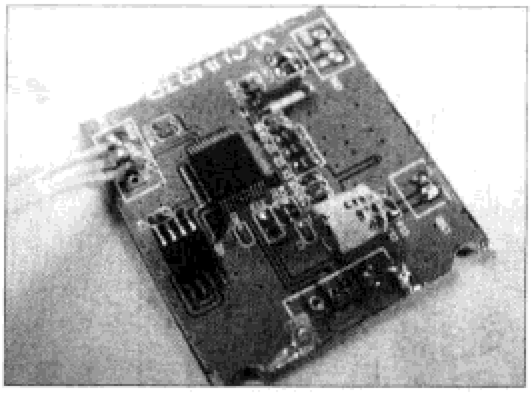
MP3播放板采用炬力方案ATJ2009，最高支持320kbit/s的MP3、384kbit/sWMA音频格式，实际用耳机试听背景宁静且音质相当好。

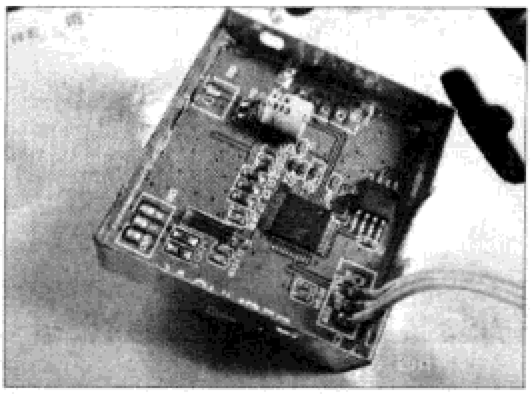

MP3播放板设计方案图

下面进入实质性改造，先增加AUX功能。将继电器就近放在音频通道旁，这样引线就能尽可能短了，不至于飞线满天飞。继电器通过一只NPN三极管控制，这只三极管还必须用进口的，一般的S8050、9014还真不行。

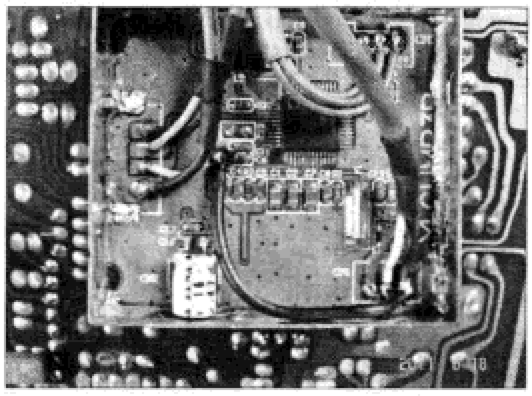


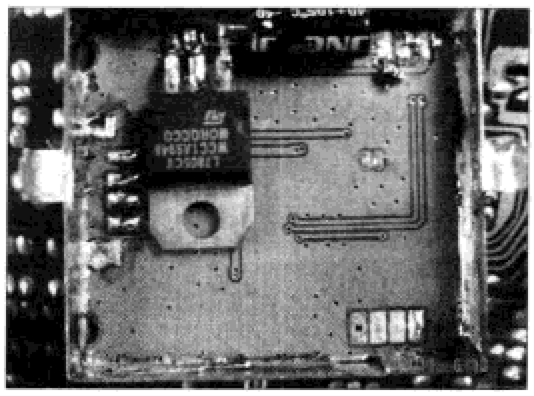

MP3播放板实物图

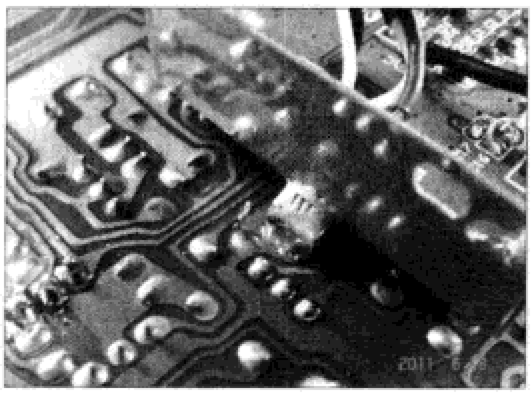

考虑到有信号干扰，于是决定将其放入现成的屏蔽盒子中，PCB需要适当切割

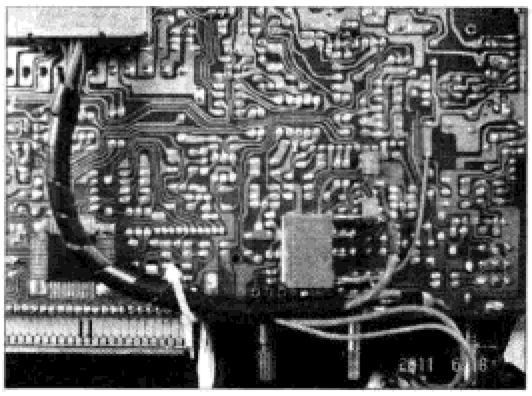

放入屏蔽盒中，恰到好处，用锡焊上

将MP3播放板的数字接地端引出，经过对比发现把这个数字接地和板子上的音频输出地连接，噪声几乎不可闻。USB由于找不到3芯的屏蔽线，于是连线改用两根单芯的屏蔽线代替。



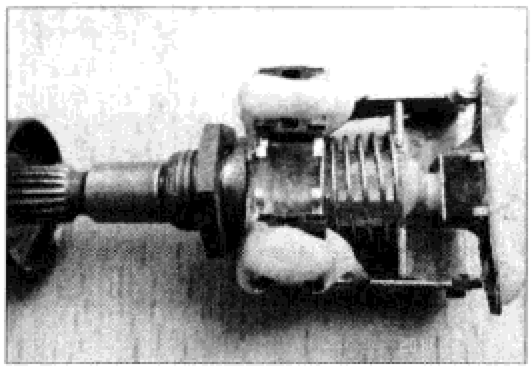

5V电源安装在PCB背面

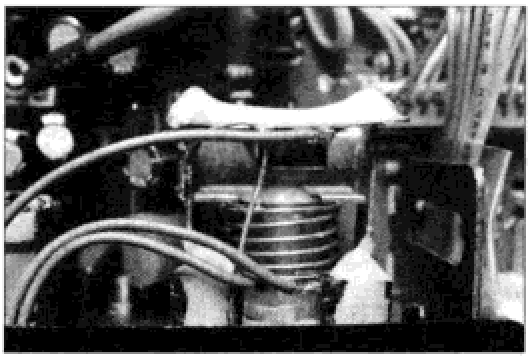

将屏蔽盒焊接在原AM高频头位置上，正好合适


连接好继电器后，对飞线进行打理，这样不至于看上去很乱

面板开USB接口的孔，这个不用多说了，用AB胶固定USB接口

再说说怎么控制MP3播放功能。下面这个DIY就是我的得意之作——3D开关，可以控制上一曲、下一曲、播放暂停功能，而且手感相当好，是用坏了的波段开关加3只进口轻触开关改造而成的。由于面板上有两个小旋钮，一个是BAL左右平衡控制，另一个是TONE类似于音调控制，相比之下还是去掉BAL功能，基本用不到，这个位置就可以放置3D开关。





3D开关装机，试用良好

最后说说其他部分改造

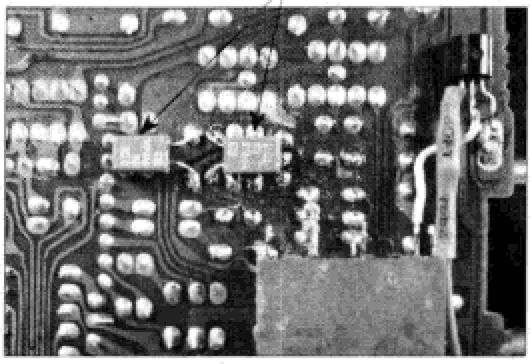
1. 就是FM收音部分的去加重时间参数的改动。由于很多二手机器都不是在中国本土使用，如美国使用的去加重时间常数是75μs，而中国使用的是50μs，这样直接来听FM会发现高音发闷，改动其实很简单，仅用两个电阻、电容。下面是几个时间常数为50μs的阻容值供参考，3.3kΩ、0.015μF，47 kΩ、1200pF，100kΩ、510pF，我采用的是5kΩ、0.01μF代替的。

2. 加强电源供电，发现这个机器12V电源电路供电部分的PCB铜箔上的印制线十分细，导致音量一大，声音就失真，改造的办法就是铲掉上面的绿膜，涂锡以加大电流流量。

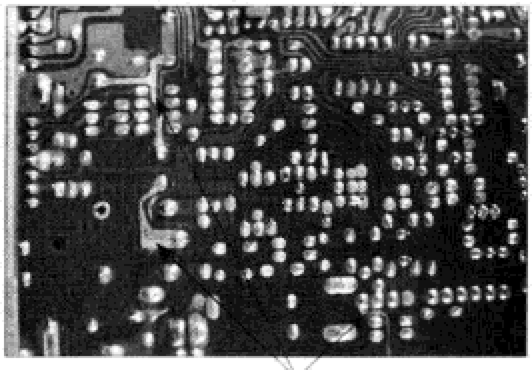
3. 改造液晶屏背光灯。原先背光是个小灯泡，到我手里的时候已经不能点亮了，直接用个草帽LED。由于LED带聚光，直接装上去易出现中间亮，两边暗。处理的方法就是用锉刀将LED灯表面锉花了，这样就会好很多，具体各位想象吧，没拍照片。

到此整个改造过程完毕，效果比较满意，没有U盘，用读卡器加miniSD卡。

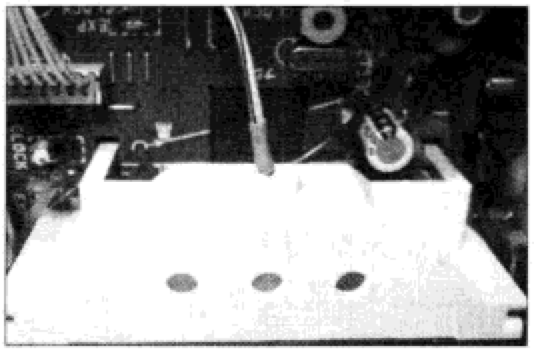
时间常数电容



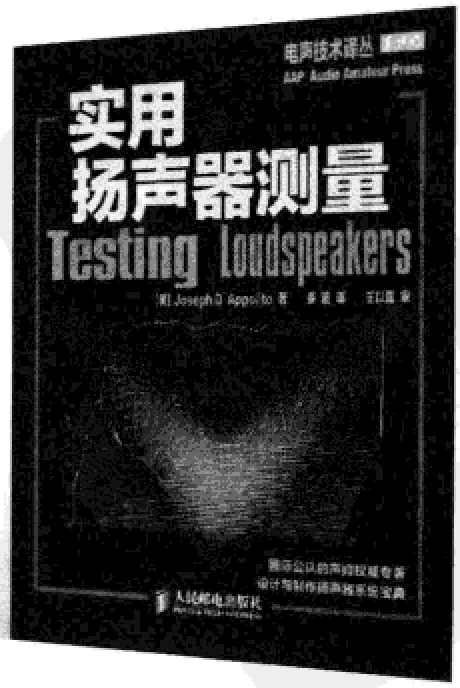
这两个红色的WIMA电容就是时间常数电容



上锡



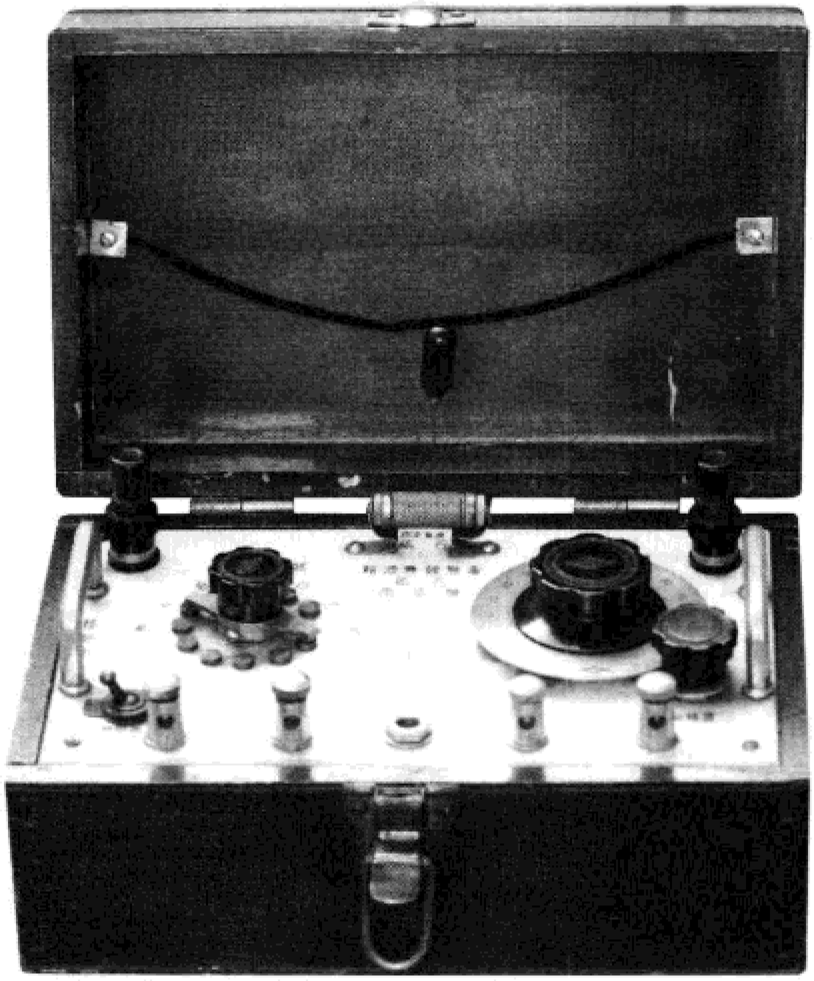
好书推荐



内容提要

本书为美国当代最著名的电声测量专家Joseph D'Appolito所著。本书分为模拟设备测量和数字设备测量两部分。第一部分使用模拟设备来测量扬声器的阻抗、T/S参数、低频封闭箱及频率响应等；第二部分以数字测试系统MLSSA和CLIO为例，详细介绍了相关的计算机电声数据采集分析系统，并引用大量测量实例和给出大量的实际测量图表。

对于扬声器爱好者来说这是一本关于扬声器测量的权威的专著。



◎陈汉燕　徐蜀

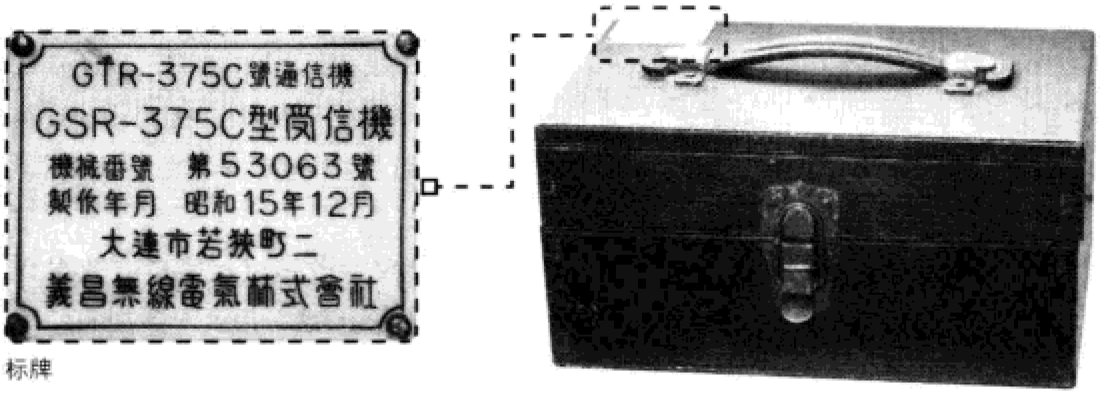
一台标有制作者信息的矿石收音机

两年前，朋友帮忙给我从东北地区淘到一台朝思暮想的矿石收音机。朋友嘱我写一篇机评，因水平有限，迟迟未敢动笔。困惑已久，忽然灵机一动：何不遵循先贤的教导，“述而不作”，如实地介绍一下机器的状况，多拍几张照片，既简单易行，又难得出错。认真回想，我之前所发的此类东西，又何尝不是如此？通通是“述而不作”地简单介绍而已。好了，还是言归正传吧。

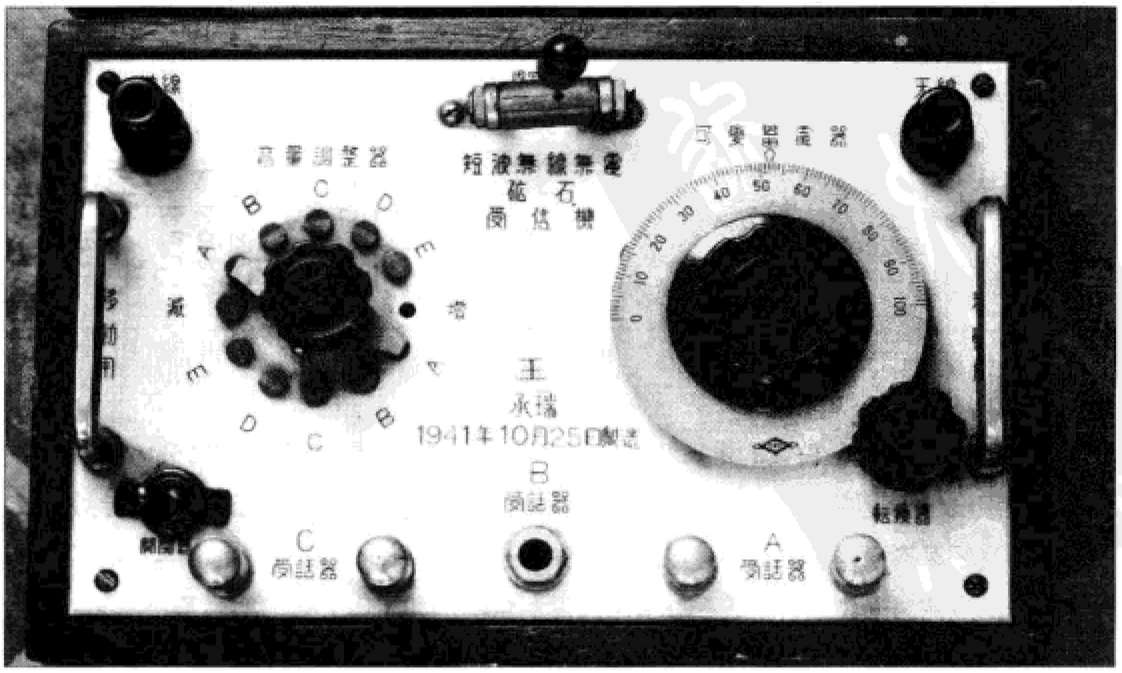
这是一台生产于20世纪40年代初，机上标有型号、编号、厂名、厂址、出厂日期、制作者，并且品相相当完美的矿石机。机箱尺寸：高11.7cm，宽22.7cm，厚14.6cm。除了身份信息异常翔实外，此机还有以下特点：

一、这台矿石机问世已经68年，但品相依旧很好，金属器件毫无锈蚀，木制机箱亦无朽损。究其原因，大致有三：一是东北地区气候干燥，二是原机主爱惜呵护有加，三是机器用料非常考究。

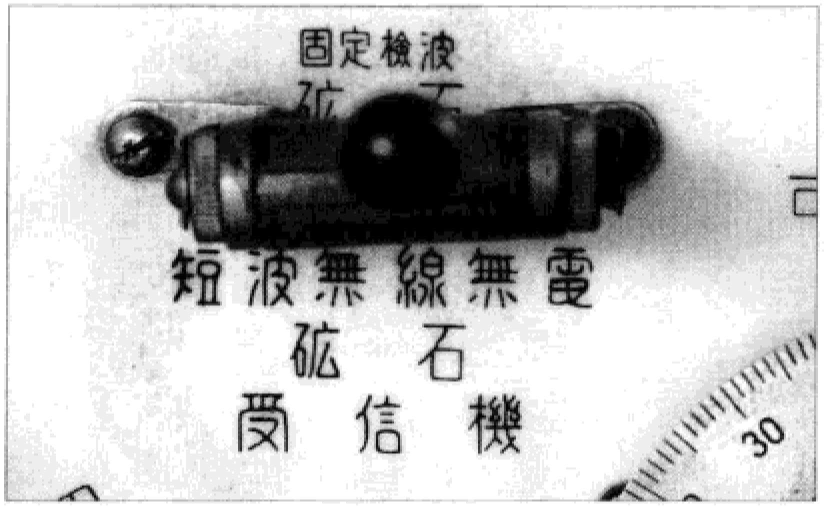
二、此机的身世不同寻常。最早，我将它界定为“日本矿石收音机”。因为它的面板上有很多日文，厂名也是什么



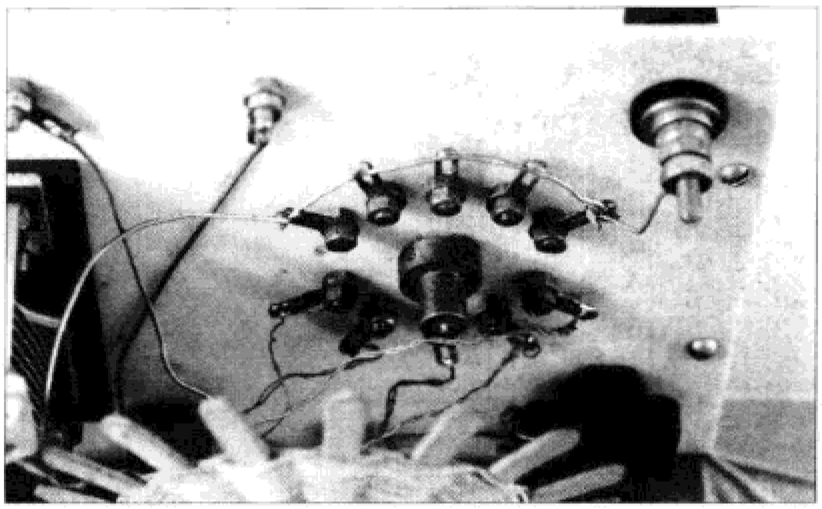
标牌

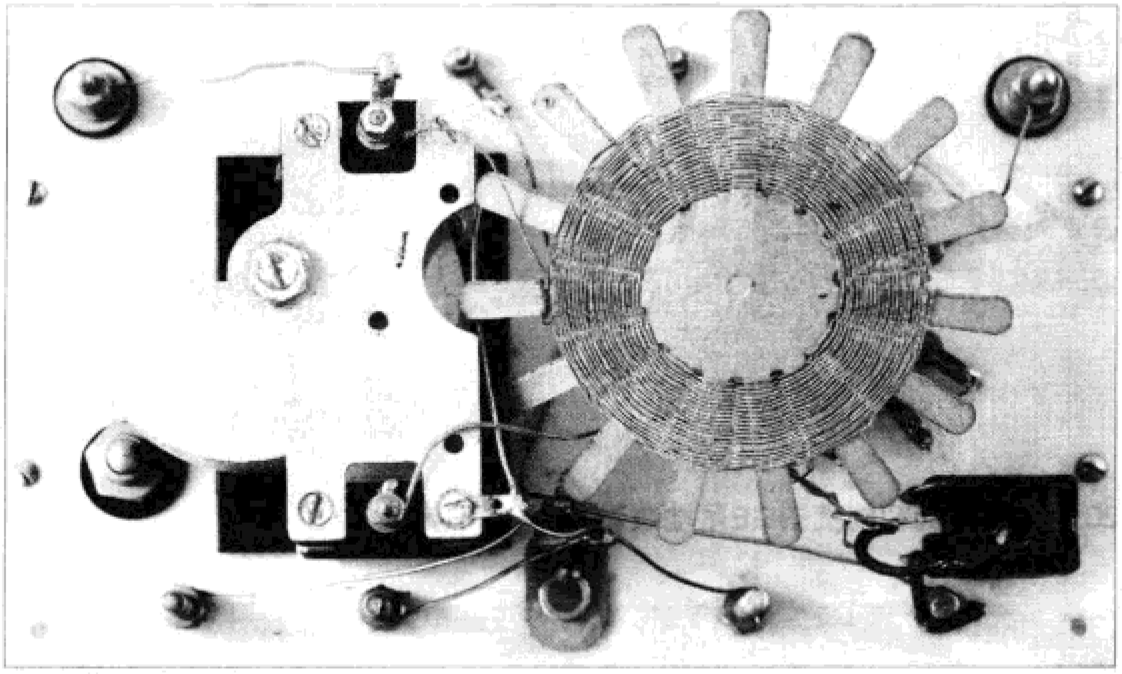


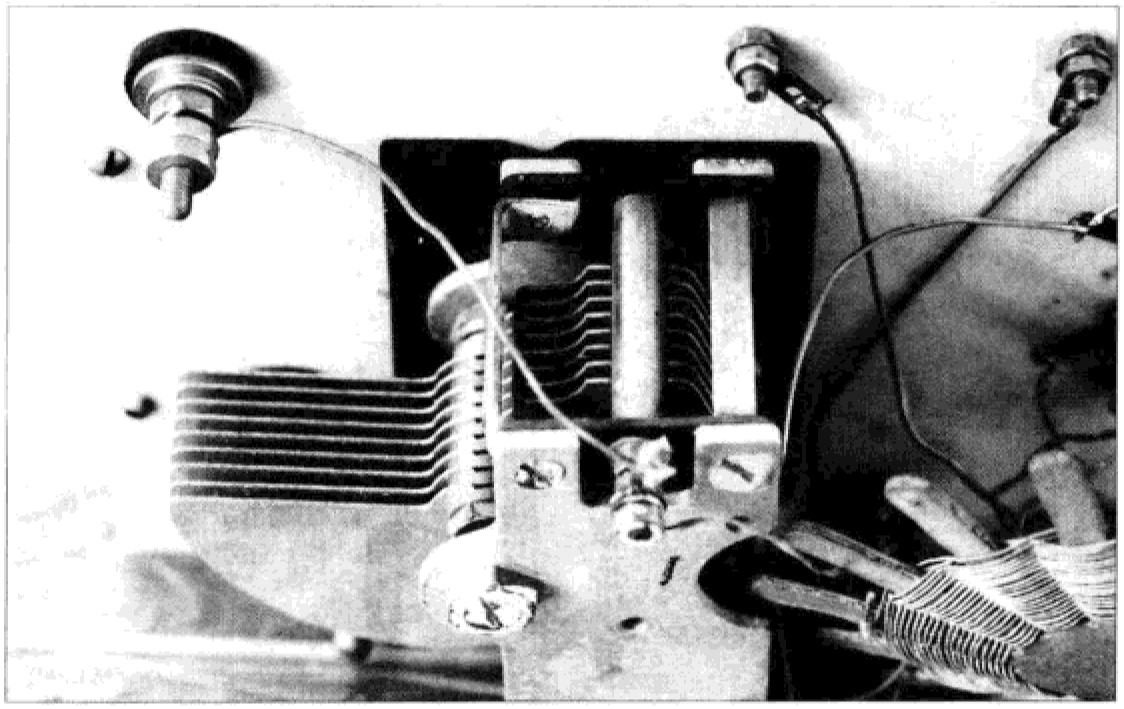
面板



矿石全图

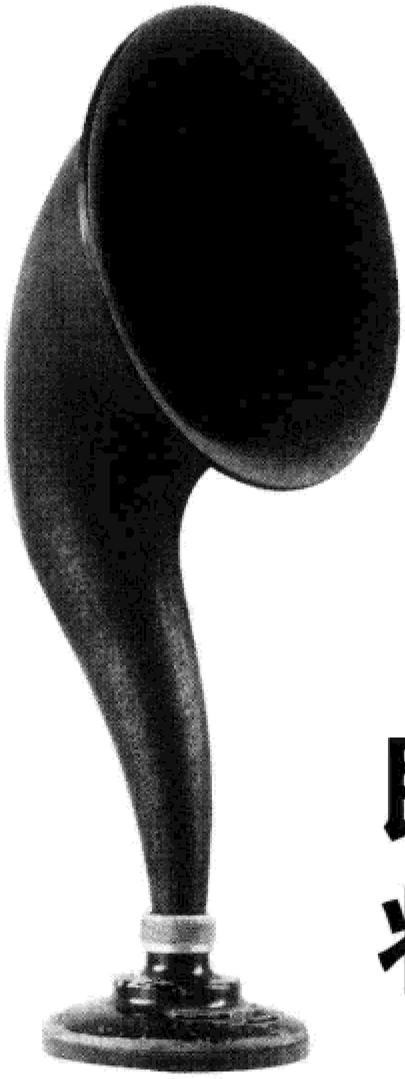

分线器


底板下全图


单连

“株式会社”。但认真思考之后，觉得它就是一台地地道道的国产矿石机。首先，它是在中国的大连生产的；其次，制作者是中国人王承瑞。虽然有许多元件是进口货，但这在民国时期很常见。例如亚美公司生产的矿石机，就有国产元件与进口元件之分。当然，从这台矿石机也可看出，当年日本企图吞并中国的狼子野心。当时日伪生产的一些收音机，度盘上的地图已将东三省划归日本。这台矿石机，居然把大连的地名日本化，实在可气又可笑。

三、此机面板上标明型号为“GSR-375C受信机”和“GTR-375C通信机”。受信机系日本人当时对收音机的称谓，但通信机却不知所指。难道是军用？这从该机的构造看，似乎也靠谱。首先，它有3个耳机插口，其中一个还是6.5cm的单插，军机上多使用此类耳机插口；其次，此机还有两个金属提手，即面板上标明“移动用”的装置；再次，此机调谐旋钮是那个小钮（即所谓“转换器”），它带动大钮，能够起到减速作用，调谐更精细。上述三点都是一般民用矿石机不具备的。另外，机器面板上注明了制作人、厂家和生产的年月日，显然是要明确责任，以便日后出现问题进行追究，可督促制作者保证质量，这恐怕也是军用品的特色吧。



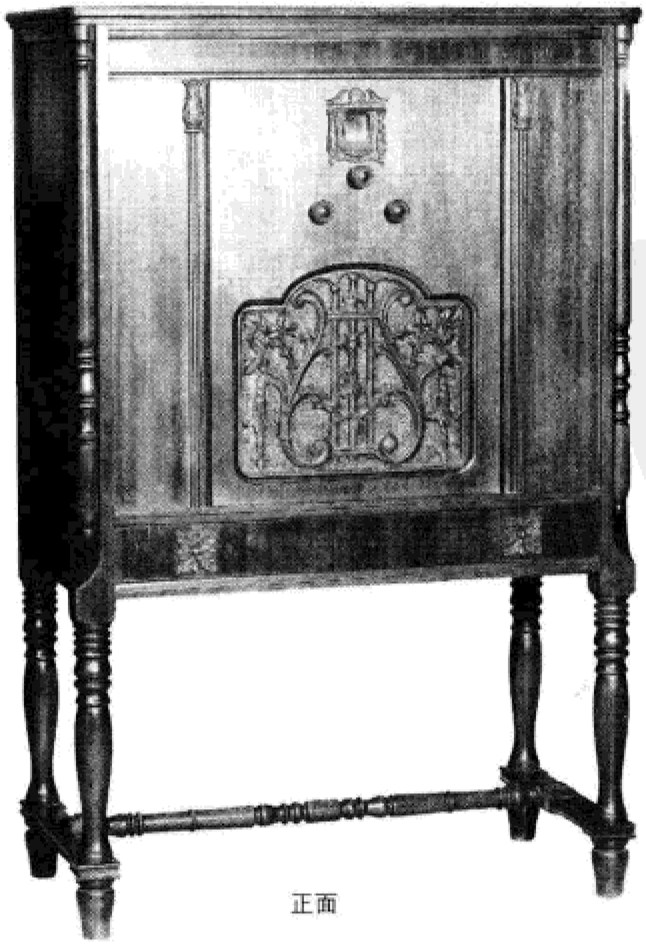
◎陈汉燕 徐蜀

民国时期收音机状况之一瞥（一）

民国时期国内流行的收音机主要有三大类：一是舶来品，二是组装机，三是国产机（其实未必全部国产，至少电子管要进口）。其中舶来品数量最多，要占到60%以上。组装机系用国外元件或主要部件为洋货加工而成，数量居次。国产机最少，只占1%~2%。如果将民国时期的收音机状况作一简单分期，大致可以划分为三个时期：1923—1934年为一期，洋货一统天下；1935—1945年为二期，以亚美公司1651型五灯收音机问世为标志，国产收音机开始参与国内收音机市场的竞争；1946—1949年为三期，进口的美国收音机以及引进美国生产线组装的美国收音机，成为收音机市场的主流。以下分别作一介绍。

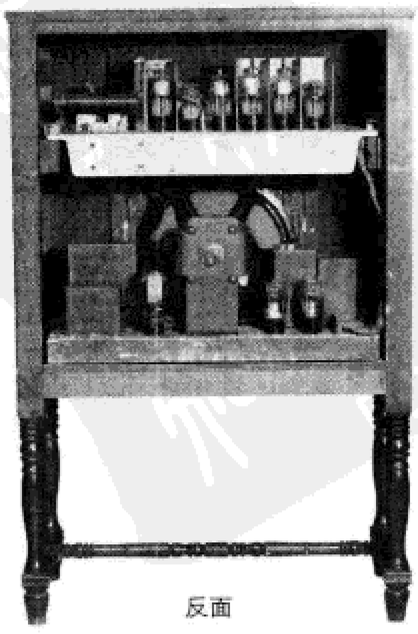
1923年1月美国人奥斯邦利用旅日华侨的资金，在上海建立了中国第一家广播电台，并借机开始推销收音机。根据文献记载，当时上海地区约有500架收音机，

20世纪30年代初的美国GE落地收音机



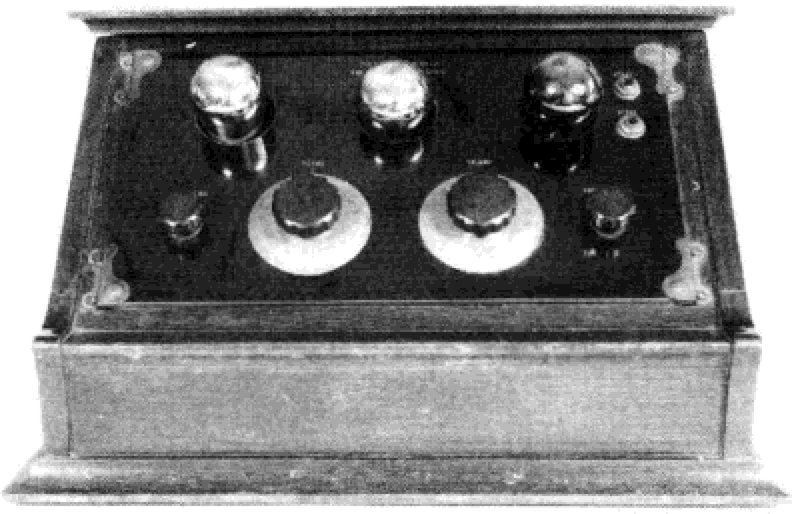
正面

铭牌

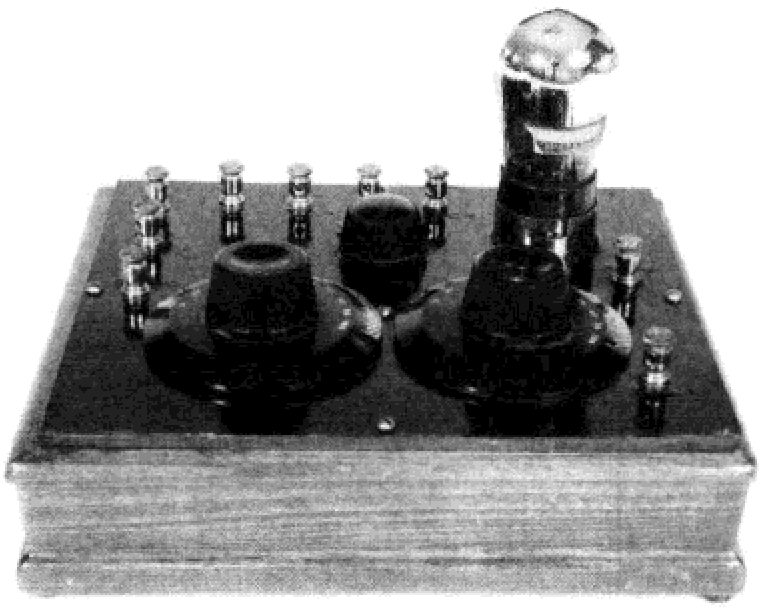


反面

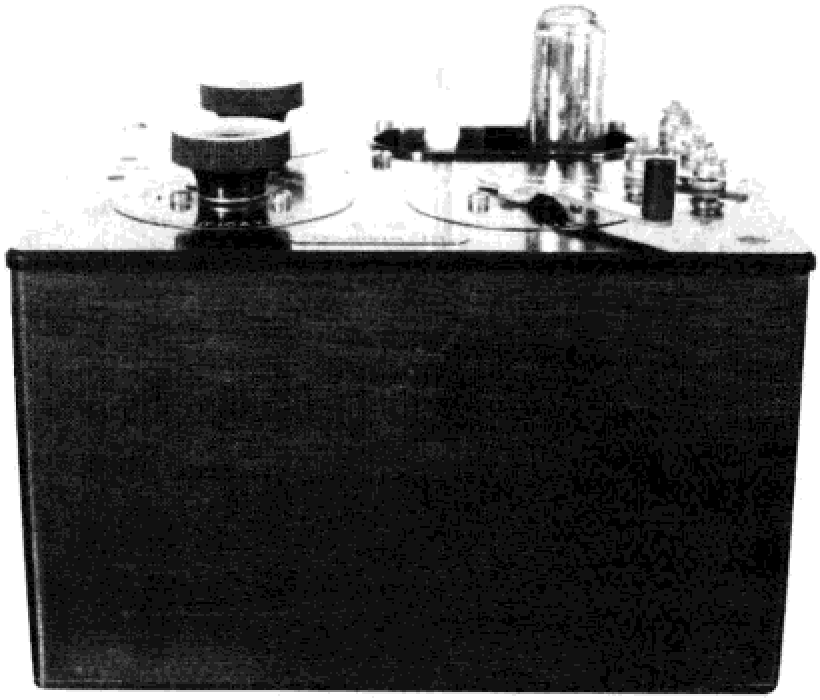
1920年的美国收音机Colin B. Kennedy



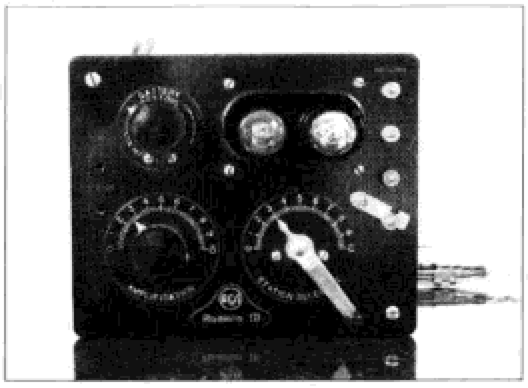
1923年的美国单管机



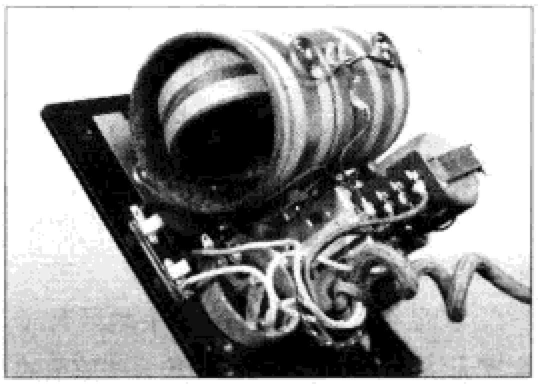
美国20世纪20年代RCA两管收音机



外观



面板

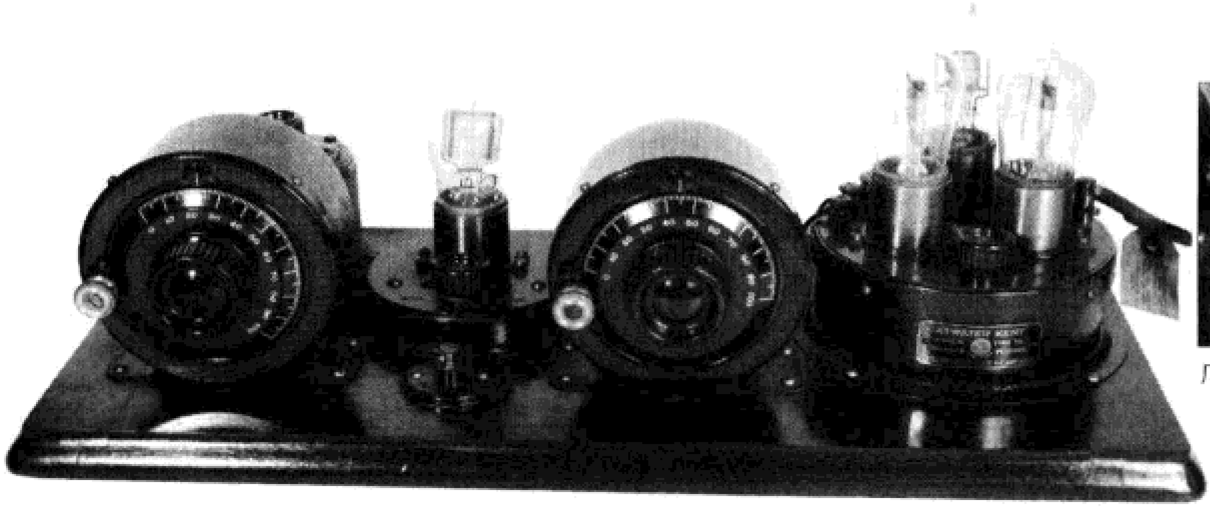


内部

全部是洋机。此后又有永安、新孚、开洛数家电台开张，其目的均不离销售收音机，如1924年5月14日《申报》发布开洛电台《申报》馆分台即将播音的消息时，便大做收音机的广告：

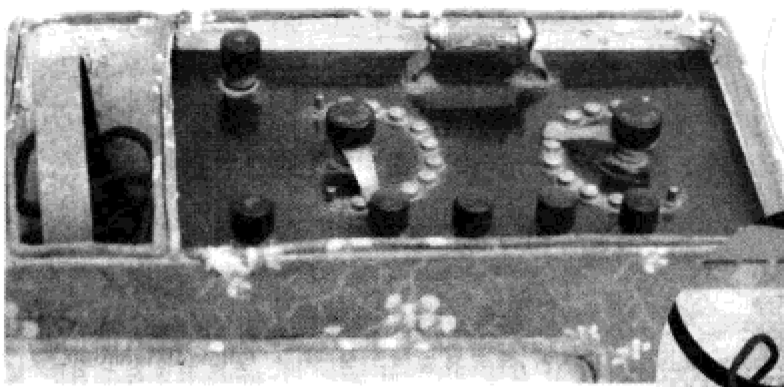
“本馆自明日起，用无线电话报告新闻，每日两次，上午9时45分至10时15分，晚间7时至8时30分。所报告者，上午为汇兑市价、钱庄兑现价格、小菜上市等，晚间为重要新闻及百代公司留声机新片。凡本外埠各处装有无线电收音机者，均可听得本馆之报告。” “本馆此项无线电话机（即收音机），系由江西路62号开洛公司装置，异常灵捷便利，发音亦复清晰。该公司制有最新式大号收音机，形如电动留声机，所用检波器及两级增波器之全副机器，可以接收远近所发大小无线电之波浪。又有J字502号之收音机，亦有检波及两级增波器之全副机件。据美国报告，以上两种收音机可接到3000英里（约4827km）以外之电浪。另有一种最小最廉之晶石收音机，可接收20~40英里（32.18~64.36km）所发之电波，价格不过三四十元。”

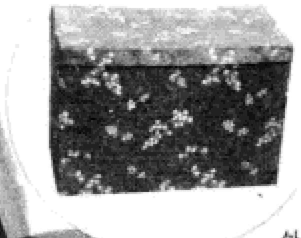
美国1923 ATWATER KENT RADIO MODEL 9C收音机

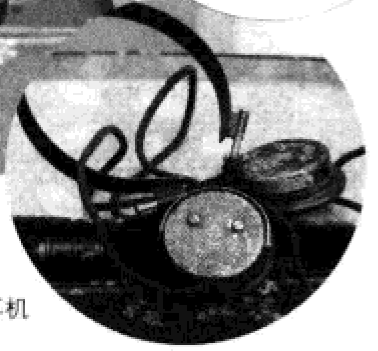


厂标

20世纪30年代国内组装的矿石机


面板


外观


耳机

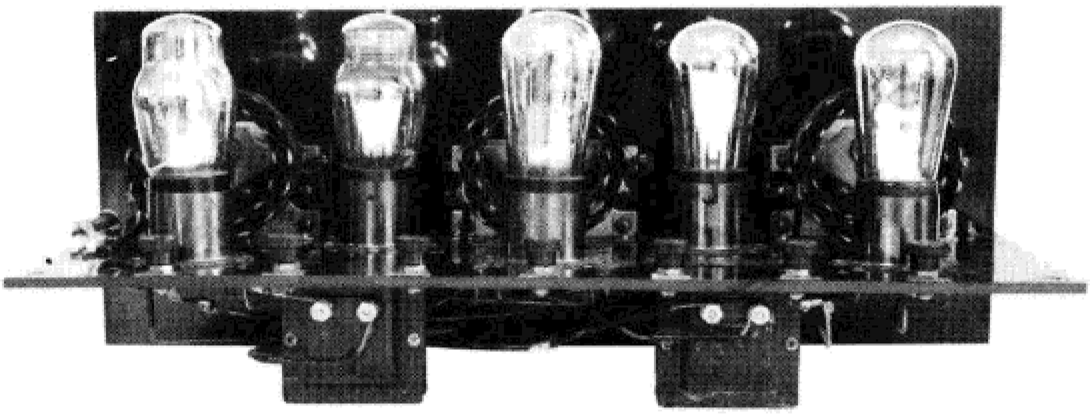
20世纪30年代亚美老线圈管

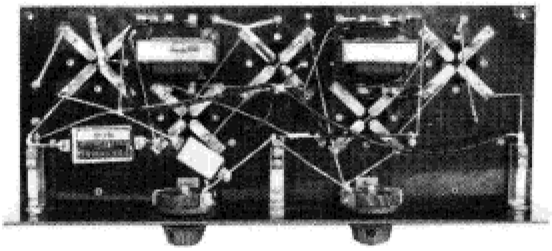
20世纪20年代中期，中国主要的广播电台及收音机均在上海。当时有美、英、法、德、日诸国收音机进口，美国货占据份额最多。一些洋行贪图中国劳力便宜，进口散件进行组装，后来甚至委托中国的无线电作坊生产不重要的配件。一些不法商人则采用低廉的元件组装，然后冠以洋行的字号卖高价。收音机的形式，洋人基本用电子管收音机，但电路以再生式为主，超外差机极少。国人因财力有限，多数喜欢用矿石机。

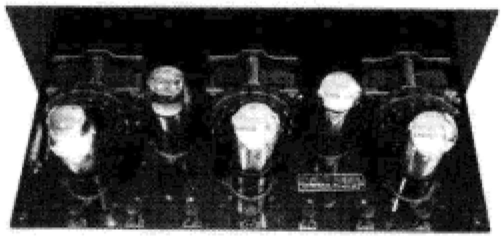
20 世纪 20 年代后期，东北、天津、北京，以及江浙一带纷纷建立电台，收音机的数量也有了较大增长。但此时日本收音机及元件借助低廉的价格，进口数量迅速窜升，大有取美国而代之的势头。据文献记载，30 年代初，日本的 3 灯再生收音机只售 10 多元钱，比欧美收音机便宜很多。

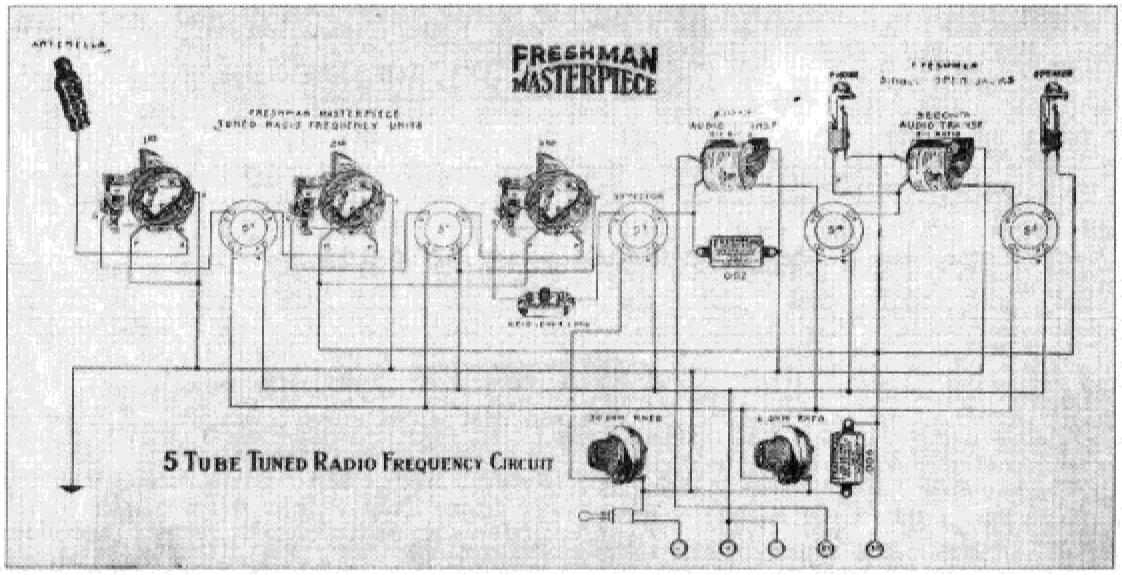
20世纪20年代中期，上海地区有20余家无线电小作坊，生产销售一些简单的收音机元件，如亚美、天和、电亚、天声、业余无线电研究社。1930年左右，又有麟记、亚洲、大华、中雍、精美、建华开始经营。但真正成气候的首推亚美公司。亚美公司成立于1924年，起初只是生产线圈、接线板等简单配件。1928年开始制造输出变压器和可变电容器。1929年，开洛公司歇业，广播电台也停播，对收音机及相关行业产生了不小影

美国Freshman Masterpiece Tube Radio 收音机


后视图


底板


背面



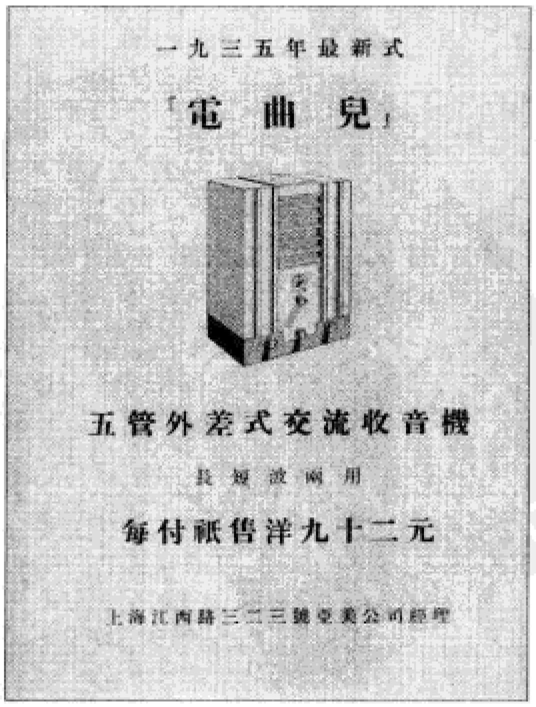
电路图（老资料）

响。亚美知难而进，开办了“上海广播电台”，并于次年扩建工厂，增设木工、漆工等部，显然，亚美已经在为成品收音机的生产做准备。扩建后的短短两三年，亚美的设计制作能力和水平有了长足的进步。1933年，亚美1001号矿石收音机面市；1934年，开始销售以进口元器件组装的五灯“电曲儿”牌收音机。此时，距离真正意义上的国产五灯收音机的成功上市，已经不远了。

20世纪20年代，多数收音机是三极管的天下，无论单管机两管机、还是三管机、四管机，甚至五管机、六管机，统统是01A、201A、301A或WD-11等担纲，电路多为再生式。上图是一台美国20世纪20年代中期的典型收音机Freshman Masterpiece Tube Radio 五灯机机芯结构和电路图，即可见其一斑。20世纪20年代的许多收音机扬声器是独立在机箱之外的，到了1930年左右才逐渐进入机箱，如本文题目两侧的扬声器。

20世纪30年代初，电子管的性能突飞猛进，“调整高周率”式（即T.R.F.）电路成为多管机的主流，如我们收藏的一台落地式GE收音机，1930年左右的产品，洋行“大明公司”经销。该机装饰极为豪华，度盘、扬声器窗等处饰件系陶瓷烧制镶嵌，机箱不仅木材上乘，做工也是精雕细琢，管子用了八九只，但电路仍为T.R.F.式。外差式收音机由于价格较高，20世纪30年代前期国内进口的很少。

20世纪30年代初，国内的无线电爱好者已经尝试自制外差机，一些厂家和无线电行也提供外差机的散件甚至组装机成品，并借机大力宣传国货。因为高价进口的收音机管子虽多，电路却很落后，性能不如国产自制的外差机。情况虽然如此，但因当时国内民众普遍缺乏无线电知识，一味崇尚洋货，致使不少外观漂亮，质次价高的欧美收音机，大量涌入国内。加之廉价的日本收音机的大力倾销，民族收音机工业的发展十分缓慢，举步维艰。



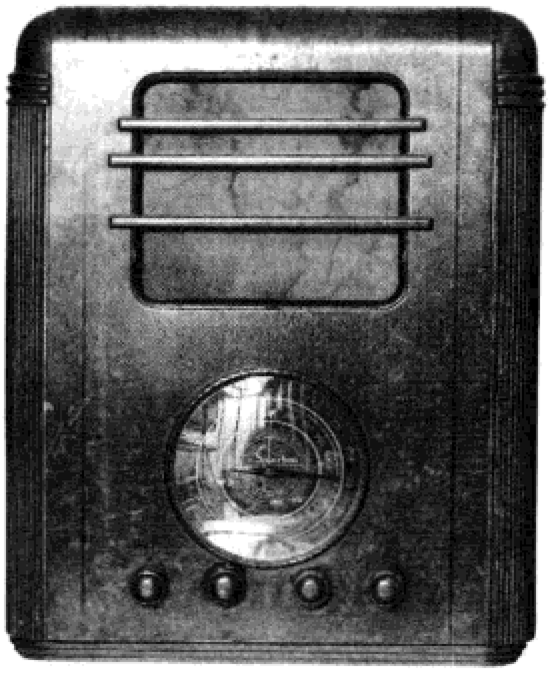
电曲儿收音机广告

民国时期收音机状况之一瞥（二）

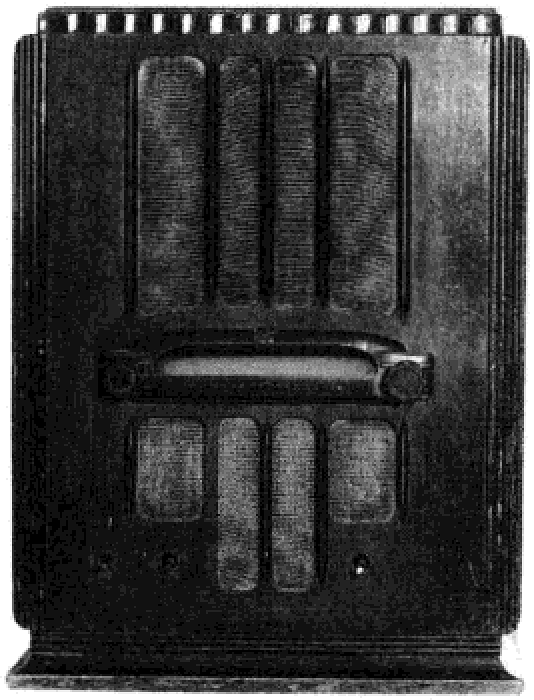
◎陈汉燕　徐蜀

1935年10月，亚美1651型五灯电子管收音机正式发售。从亚美公司的刊物《中国无线电》3卷23期（1935年12月5日出版）开始，陆续刊发1651收音机的宣传广告。1651除电子管外，主要元件均为亚美自制，这是中国第一台国产五灯外差式收音机。1651的接收性能和制作工艺水平，要比当时多数日本收音机好很多，应该具有较强的市场竞争力。但形势却并不乐观，据《中国无线电》1936年第8期记载，1936年全国共有广播电台89座，仅上海一地收音机便有10万架以上，然而“市面上通行之收音机，十有九属舶来品，每架价格少则数十元，多至数百元，真空管愈多，价格愈贵。普通自四管至七管，其装有十一二管者，则非数百元不可。利权外溢，漏卮甚巨。最近三年来，我国无线电话机及零件之进口，始终盘旋在200万金单位左右。内中美国货增减互见，英国出品，逐年递减，德国货则年有增加，唯日本货，增加最速。至于国产无线电收音机，尚在萌芽时代，兼以成本昂贵，销路迟钝，出货尚不多。”

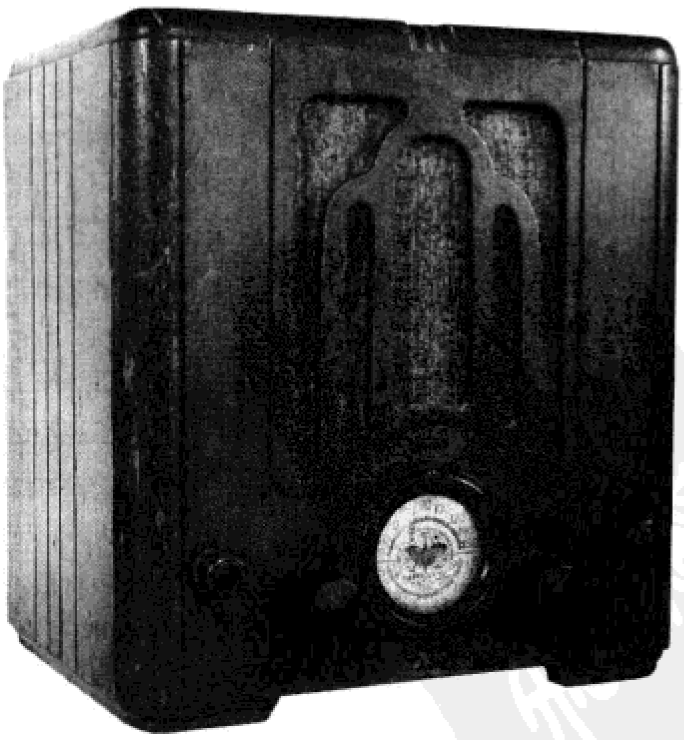
美国1936年sparton收音机



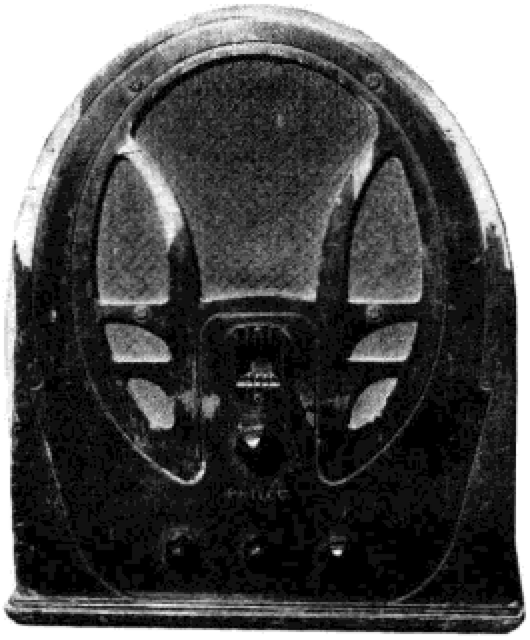
20世纪30年代的美国GE收音机



美国1937年croser515-4型收音机

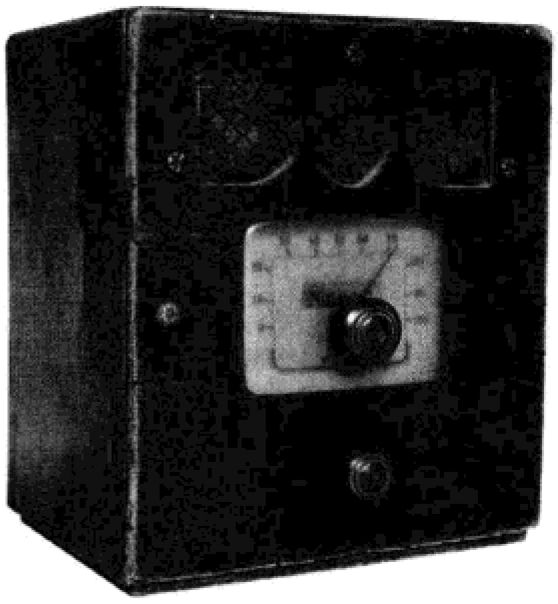


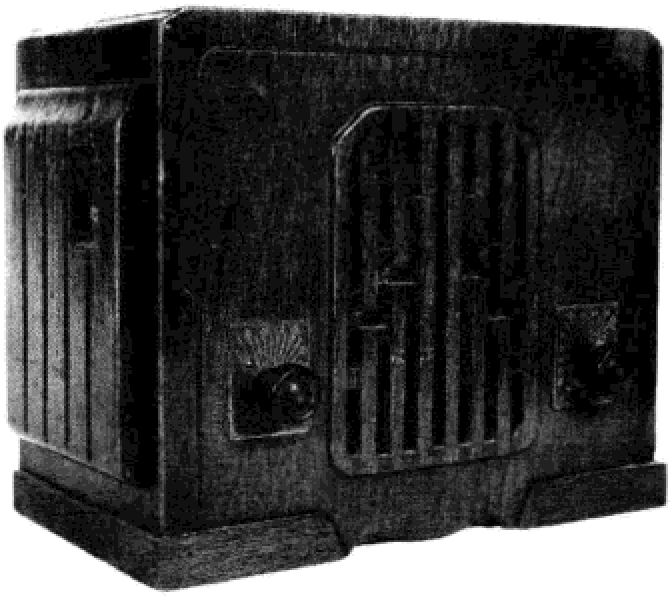
20世纪30年代的美国飞歌牌收音机



20世纪30年代初的德律风根收音机

20世纪30年代松下收音机





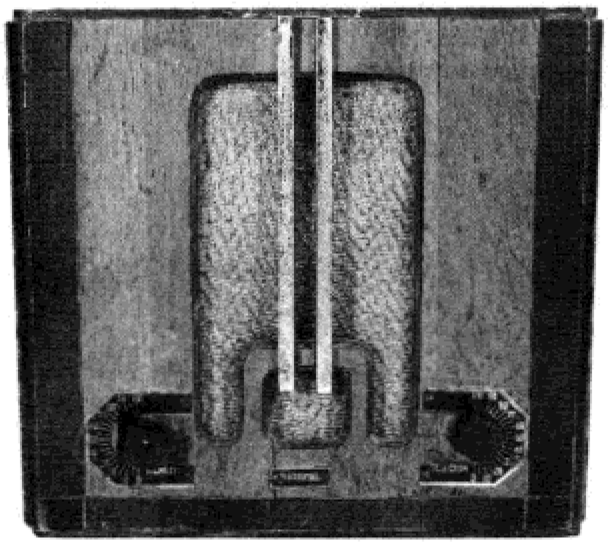
就在亚美、中雍等民族收音机厂家奋力拼搏之时，上海地区欧美收音机的进口业务，也在如火如荼地进行着。这一点仅从业余无线电研究社的《业余无线电》半月刊中即可看出端倪。半月刊每期都登载大量欧美成品收音机、元件和代为装置收音机的广告，经销数量最多的是大中华电器行和业余研究社自身。品牌主要是美国的飞歌、奇异、史德华、西屋、胜利、百乐老，荷兰的飞利浦。其实亚美公司也利用美国元件组装了“电曲儿”五灯收音机。

当然，对民族收音机工业威胁最大的，还是日本收音机。

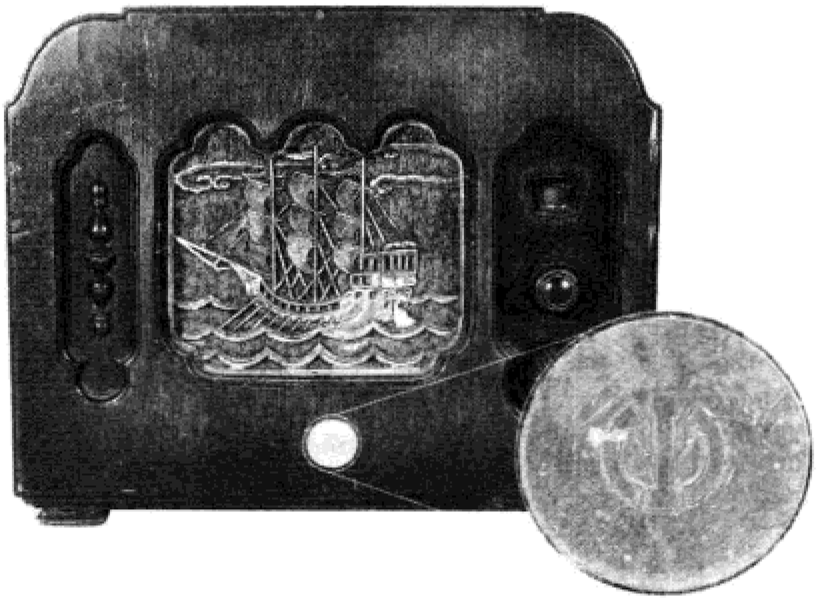
30年代中期的《中国无线电》杂志，几乎每期都有呼吁抵制“仇货”（即日货）的文章。但不可否认的是，日本收音机虽然电路陈旧，性能不如外差机，成本却非常低廉，不仅能吸引大量使用者，还有不少商家为之效力。为掩人耳目，一些店铺甚至将日货伪装成国货、欧美货出售。1937年七七事变之后，日本收音机更借助军事上的强势进行倾销。东北、华北地区还分别建厂组装标准4号、3号、11号、13号等再生机。

1942年9月22日，汪伪政权“行政院”曾下达汪精卫亲自具名的训令，批准伪“中国广播事业建设协会”推销日机的报告。

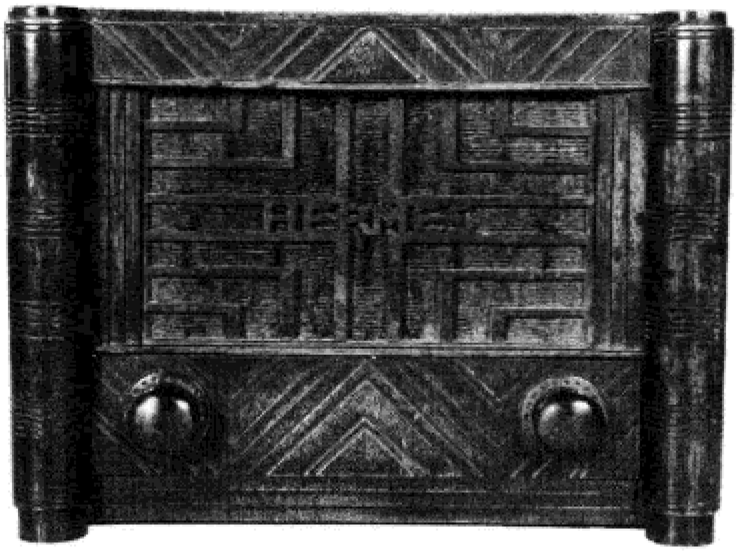
日本NATURAL三灯收音机



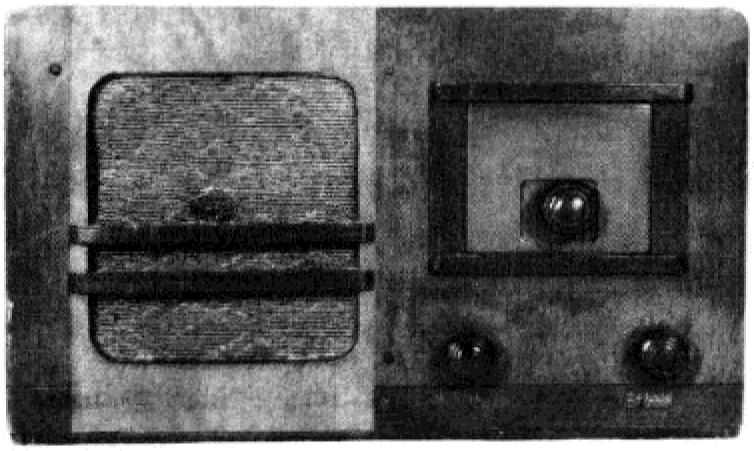
日本满铁收音机



日本HERMES收音机



日本松下牌NA-5型收音机

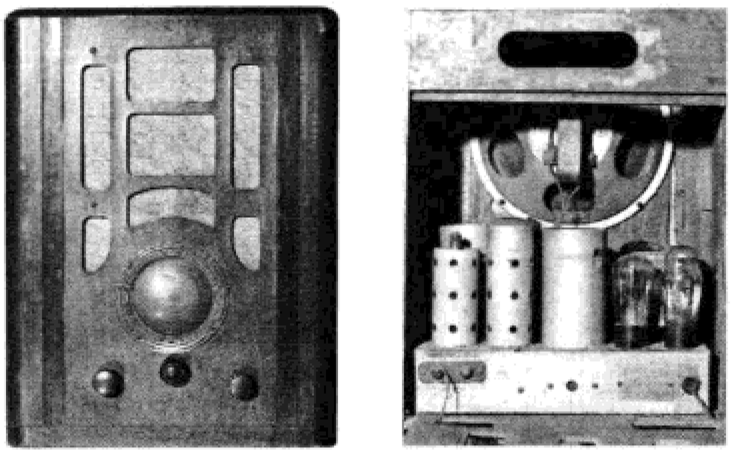


报告云：“为普及广播宣传起见，特向日本定制优良收音机，以最低廉价格出售。现该项收音机已先后运抵各地，计标准型十一号机（三灯）3000架；标准型十三号机（四灯）2000架。前者定价日金47元，后者定价日金75元。现以发售行将开始，为便利本京各军政机关购买计，决将对于各机关之贩卖事物提前办理，并将价格尽量减低，仅收成本。凡各机关在九月底以前购买此项收音机者，十一号三灯机每架定价日金43元，十三号四灯机每架日金70元，以示优待。除由本会分函劝请购买外，拟请钧部饬令各宣传机关及钧部直属各行政机关、各新闻报社暨中央电讯社尽先购置，并恳转呈行政院通令各军政机关及各级党部酌量购置，俾广播宣传早收成效。”仅这一次，汪伪政权各级机关便购置了5000架日本标准牌收音机，多么惊人。

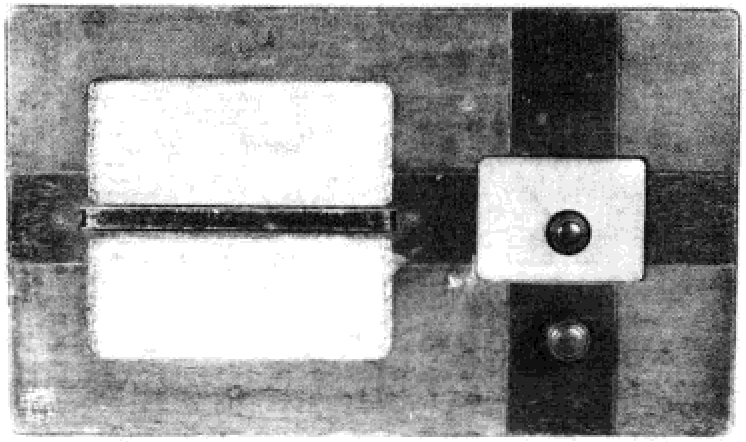
另据《山东省无线广播》第二辑《日本侵占区的无线广播》记载，日伪当局为了扩大战争宣传，进行奴化教育，1939年春在（济南）经四路纬四路中山公园东侧建设新电台，12月26日开始播音。呼号为XGOP，频率为860kHz，波长为348.8m，发射功率为1kW，是当时华北第二大广播电台，用来向全省作华语广播。日伪当局还大力发展收听工具。新电台落成之后，从日本进了一批三灯交流电收音机，开始免费赠送给学校、商场和影剧院等公共场所使用。后来又陆续购进日本和天津生产的三灯、四灯交流电收音机，由开明电料行代销，办法是：由购者向广播电台贷款，分期偿还，收音机用户要在电台登记注册。

如上所述，当时的民族收音机工业遭受着日本侵略者经济、政治上的双重挤压，根本没有生存发展的空间。至1941年，亚美公司虽先后推出1641四灯，新式1651和5TS5、5TS6型五灯收音机，在样式、工艺和接收性能上又有所提高，1936年

华北标准收音机

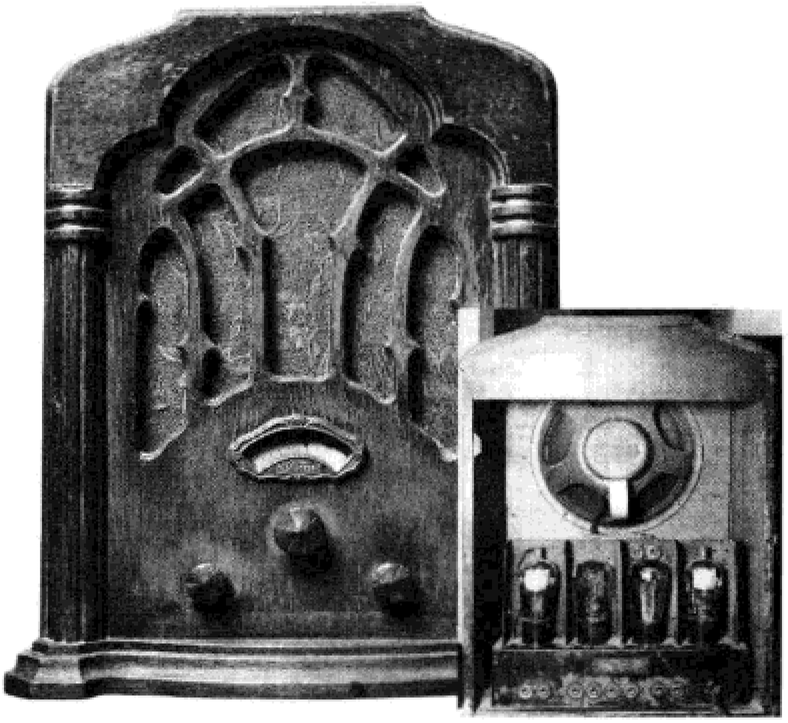


华北标准3号收音机

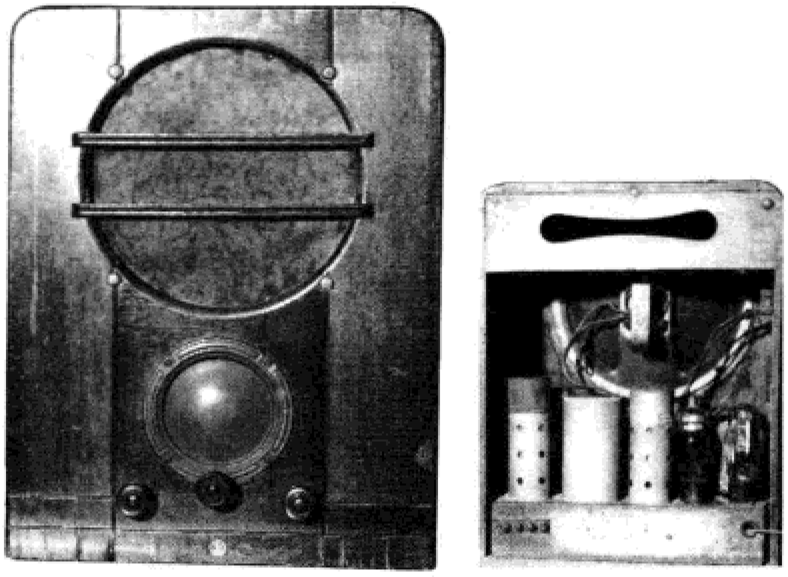


华北标准11号收音机

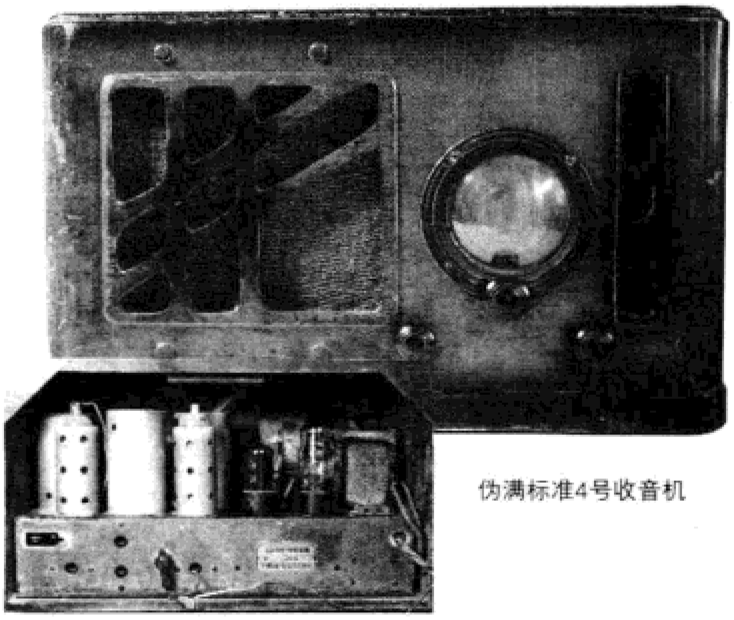
日本松下牌四管收音机



伪满标准收音机



伪满标准3号收音机



伪满标准4号收音机

起中雍无线电机厂也生产出一灯、三灯、五灯收音机，但同样销售不畅。1942年下半年，亚美、中雍等无线电厂被迫转产，不再生产收音机。

抗战以来国内遗留下来的日本收音机（包括直接进口与国内组装）种类很多，仅我的藏品中就有十多种：除“标准”、“普及”系列外，还有松下、NATURAL、满铁等品牌，电路多为直放再生式。无独有偶，二战时期日本的盟友德国产量最大的收音机，也是简单的直放三灯或四灯机。究其原因，直放机成本低利于普及。德日两国面积都不大，电台功率却不小，一般收听也够用了。另外，收音机性能差，正好可以控制民众只听本国政府的宣传，而听不到国外的宣传广播。平心而论，日本收音机除了低价的标准、普及机，有一些机器如松下、满铁等，外观设计和制作工艺还是很考究的，国产机尚达不到那样的水准。

DCS-3926S交换机重生记

◎董庆源

电脑网络的普及给人们的生活和工作带来了极大的便利，这其中交换机的作用很关键。交换机可分为以太网交换机、令牌环网交换机、FDDI交换机、ATM交换机等。以太网交换机目前占局域网交换机的绝大多数，我这里就给大家介绍一款以太网交换机DCS-3926S（版本号：V2.10）的两类故障维修方法。文章分成两部分，一部分是讲电源模块的修理，另一部分是讲交换机无法正常启动，对系统文件的重新刷写处理。之所以想把这个维修写出来，是基于交换机的维修与新购相比是有很大益处的，不返厂维修一台这样的交换机，成本在20元左右，算上人工也就是最多200元以内，而新购一台，现在的新机价格大概在3000元，二手机器也要1000元左右，所以维修是很有意义的。当然如果真是硬件损坏那只能返厂了，维修成本就很高了。但是统计下来，我连续修了20台左右，只有1台真的是因为硬件损坏需要返厂。

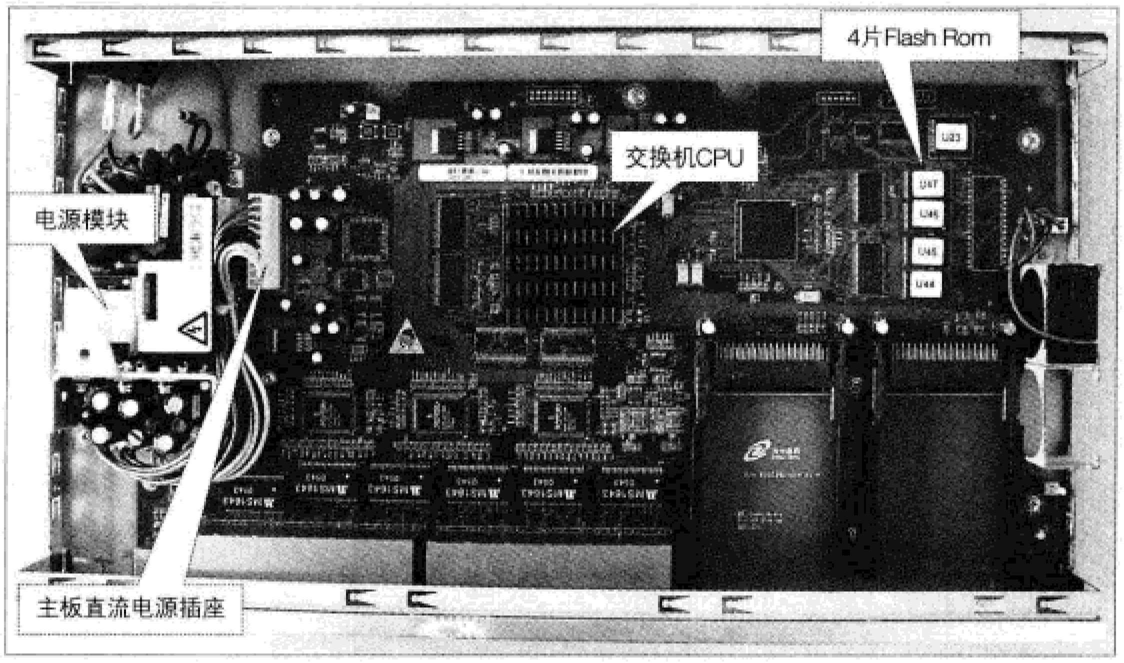


图2 DCS-3926S交换机内部结构

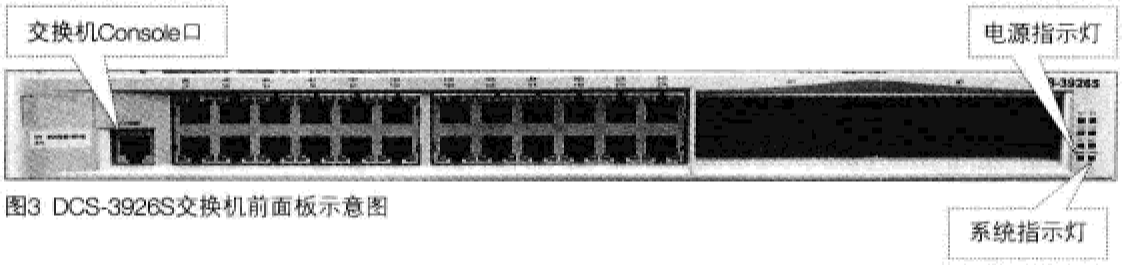


图3 DCS-3926S交换机前面板示意图

特别说明：不同型号和不同版本号的交换机维修操作方法会有不同，如不小心可能会导致交换机彻底损坏。这两个参数注明在交换机底部的标签上面。

准备器材：相关电子焊接器材、电脑一台、Console线一根。Console线是用于连接交换机与电脑进行测试和系统配置用的。Console线外观如图1所示，一般随新交换机配送，水晶头一端接交换机Console口，另一端接电脑串口。

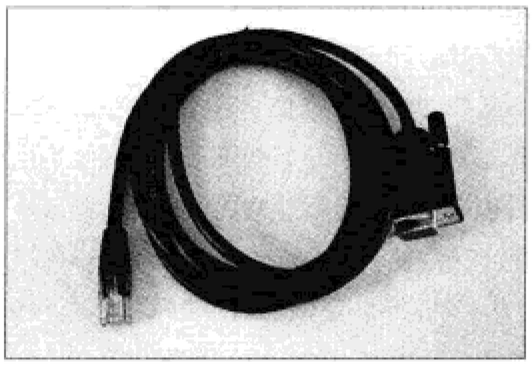


图1 交换机Console线

电源故障

我们单位在2006年初建网络时，购买了一批DCS-3926S网络交换机，到目前已经使用了5年左右的时间。由于交换机大部分是24小时工作模式，这就对电源提出了很高的要求，根据我的维修总结来看，电源故障比重占到正常使用情况下所产生故障率的70%左右，所以这里先将电源故障的检查和维修作一些说明。

DCS-3926S交换机内部结构照片如图2所示。

CPU负责整个交换机的运行控制，4片Flash ROM用于存放系统程序和配置参数。电源模块向主板提供3种直流电压：蓝对黑12V、红对黑3.3V，黄对黑5V，在有些机器内部的导线颜色可能和图中会有不同，但排序是一样的。

DCS-3926S交换机前面板照片如图3所示。

电源模块导致的故障表现主要是交换机不能正常启动，反应到面板上，一般是电源指示灯不亮或很暗，系统指示灯不亮。但如果用万用表测试内部电压可能数值上差不多，这是一个容易迷惑人的假象，电压近似正常并不代表主板

直流供电符合要求。

电源部分的维修思路很简单，我们不去过多的研究该电源的电路原理，数字脉冲电源都是利用脉冲控制芯片产生脉冲，变压器次级产生脉宽可调的脉冲序列，依靠并联在输出端的大容量电解电容进行滤波和平滑输出电压，这些电解电容在长时间连续工作的情况下，最容易损坏。而且我修了好几台机器，发现很多电源模块上采用的并不是电脑主板专用电解电容，都是普通电解电容代替，这样就更增加了这部分发生故障的机率。从外观上看主要有：电容顶部起鼓、底部漏液。有些电容外观没有明显异常，但容量已经降至很低，在电路中已不起作用。电容起鼓、漏液的照片如图3所示。

我的做法是不管是否有明显变形，只要是使用几年后第一次维修，统统将它们换新，再做下一步的判断。事后证明这个做法是很有必要的，另外这些电容价格也不是很贵，全部换新也没多少成本。常用的电解电容参数和参考价格如附表所示。

图3 电源部分滤波电容故障示意图片

附表 交换机电源模块常用电解电容

名称	容量（μF）	耐压（V）	淘宝参考价格
电解电容	2200	6.3	0.15元
电解电容	2200	10	0.25元
电解电容	3300	10	0.3元
电解电容	1000	10	0.2元
电解电容	470	35	0.25元
电解电容	1000	16	0.25元

系统故障

在我维修的这部分交换机当中，有几台是因为去年夏天雷击导致损坏，我将电源部分电解电容更新处理后，仍然不能正常工作，系统指示灯不停闪烁提示系统正在重启，看来不是简单更换电容能解决的故障，必须进行电脑联机测试了。这里就用到Console线，在交换机带外管理模式之下，进入交换机完成内部软件故障的修复。这部分的处理方法思路是：先上电启动，进入BOOTROM模式，在电脑网卡和交换机的任一网络端口之间用网线连接，然后利用这根网线借助TFTP（简单文件传输协议）将系统文件和ROM文件从电脑主机传入交换机，这样比较快，几分钟即可。如果用Console口来传时间很长，连BOOTROM模式也进不了，那只能返厂修理了，当然这样的几率不是很高。具体操作步骤如下：

1. 用Console线连接交换机Console口和电脑COM口，然后点选“开始”→“程序”→“附件”→“通讯”→“超级终端”，启动Windows自带的超级终端调试工具。如果用单片机工具中的串口调试助手也能调试，不过没有超级终端方便，超级终端启动界面如图4所示。

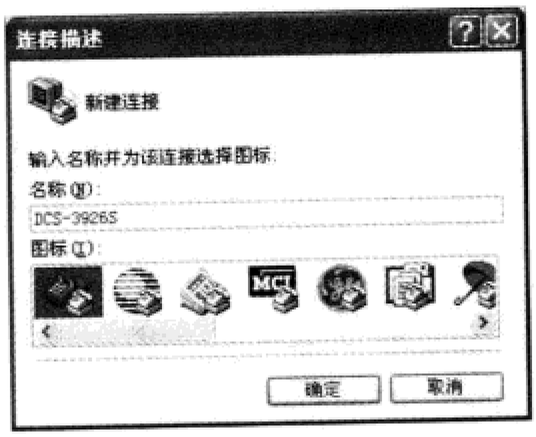


图4 超级终端启动界面

在名称栏输入一个自定义的连接名称，如：DCS-3926S。选一个图标按“确定”，进入下一步端口设定，如图5所示。

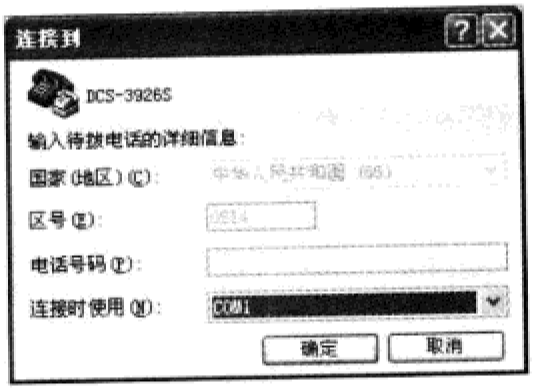


图5 端口设定

在“连接时使用”下拉框选择实际连接的COM口，这里用的是COM1。按“确定”进入端口属性设定界面，如图6所示。

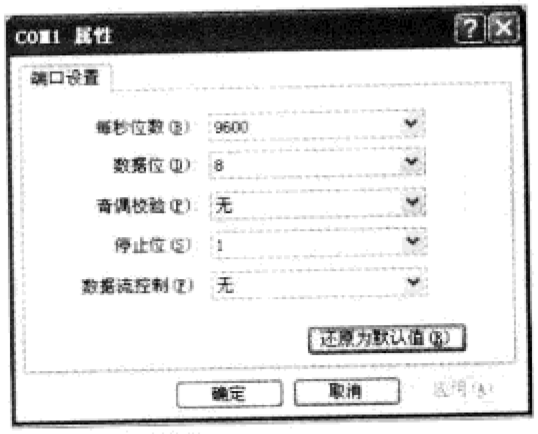


图6 端口属性设定

在这里就点击“还原为默认值”，上面的参数设定就能满足要求，按“确定”完成相关设定，出现超级终端的连接界面如图7所示。

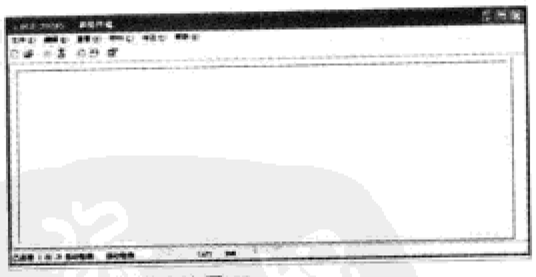


图7 超级终端连接界面

2. 给交换机上电，故障提示界面如图8所示。

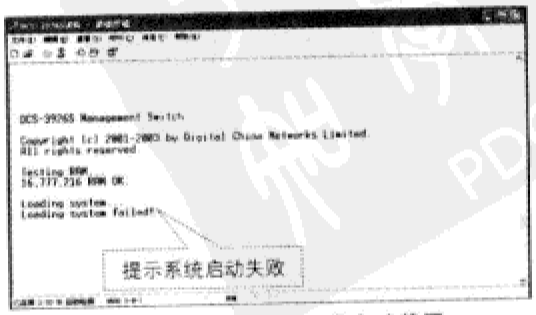


图8 DCS-3926S交换机无法正常启动截屏

3. 按Ctrl+B不松开，进入BOOTROM模式，界面截屏如图9所示

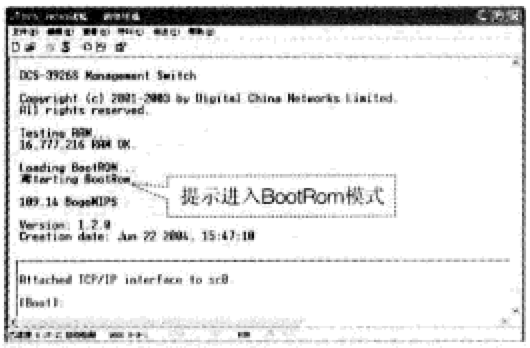


图9 进入BOOTROM模式

4. 按H后回车，H是Help的缩写，表示要帮助，进入该机型BOOTROM命令列表界面。因为同一个厂家的不同型号交换机命令也可能不同，所以这样可提示一些命令的格式。界面截屏如图10所示

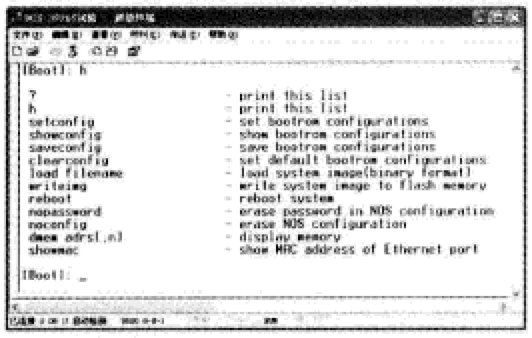


图10 命令列表

5. 为进行TFTP传输，首先关闭电脑防火墙和设置主机IP地址，操作步骤如下。

（1）右键单击“网上邻居”，再右键单击“本地连接”→选“属性”，点击“高级”标签，截屏界面如图11所示。

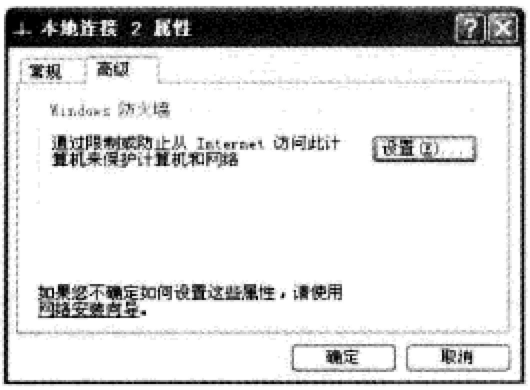


图11 本地连接设置

（2）点击“设置”界面如图12所示，正常都是“启用”，这里为了进行TFTP传输，临时选择“关闭”，最后再恢复启用，防止电脑受到病毒攻击。

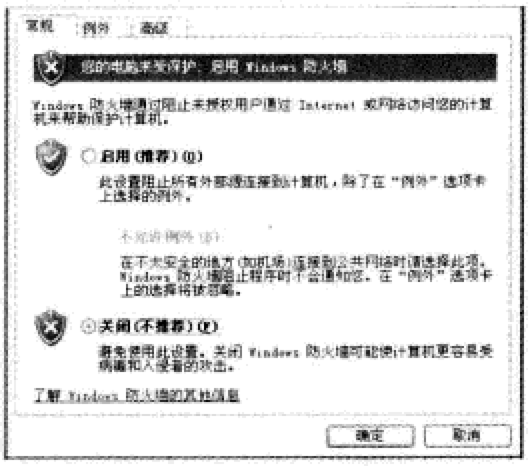


图12 防火墙设置

（3）回到打开本地连接的属性页面，在常规标签页面，双击INTERNET协议（TCP/IP），如图13所示。

图13 Internet协议设置

（4）在出现的页面上输入符合一定要求的自己定义的IP地址，如图14所示。这样主机IP地址设定完成。一般局域网内电脑都是选择自动获得IP地址，这里临时设定进行文件传输用，事后再恢复到自动获得IP地址。

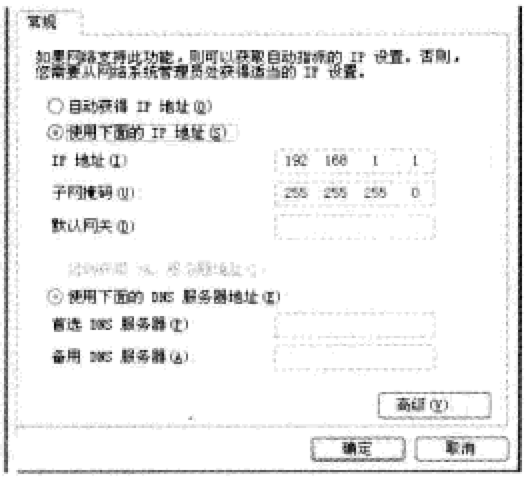


图14 主机IP设定

6. 设置交换机IP和传输模式，IP地址要与电脑主机有区别。界面如图15所示

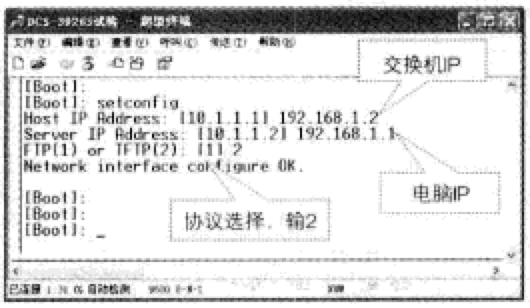


图15 设置交换机IP地址和传输协议

7. 启动Tftp32.exe，打开电脑主机69号端口，准备传输系统文件，界面如图16所示。

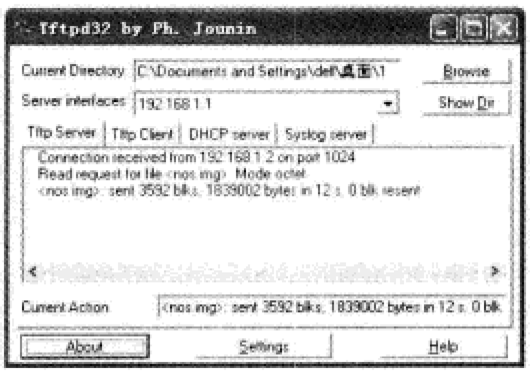


图16 TFTP传输软件界面

8. 通过超级终端向交换机发送系统文件加载命令，如图17所示。

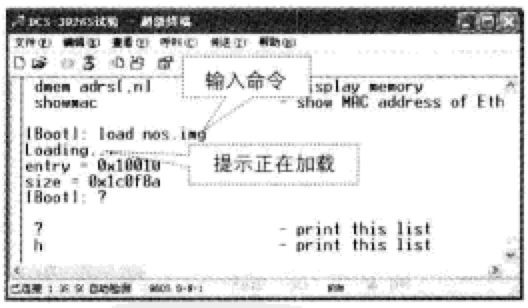


图17 交换机系统文件加载

9. 加载完毕，要加文件写入Flash，通过超级终端发送命令Writing，将系统文件写入Flash，完成备份。

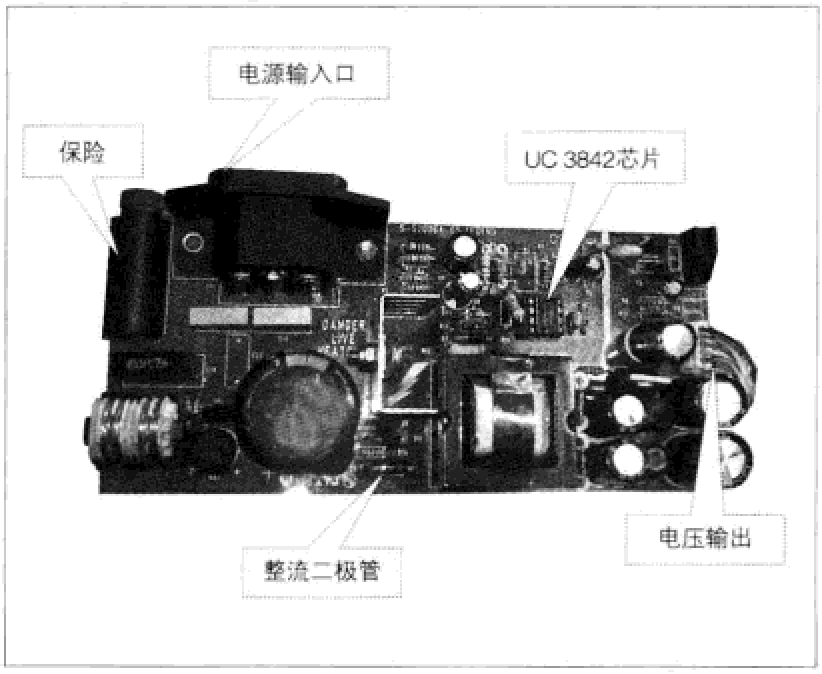
10. 发送reboot命令，重启交换机，启动界面提示已经能从新的系统文件进行启动了，如图18所示。

英国Soundcraft(声艺)调音台的维修小记

◎张国武

Soundcraft（声艺）是一种专为录音、现场演出、广播电台等用途设计的调音台。它操作简单、使用方便、具有优美音频特性。它分为6、8、12个单声道输入，最大的特点是音质优关，控制面板人性化强、条理性强，采用了著名的GB30话筒前置放大器。

通电试机，有电源灯指示，可没有音频输出，无音量电平指示灯显示。48V的幻象电源也无显示，估计是供电电路有问题。把面板上的调节旋钮全部卸下，拆掉上外壳，再拆下主双面板后，才见到单独的供电线路板，卸下查看外观。烧糊的板子展示此调音台曾经修过，一只25V 2200μF滤波电容已轻微鼓包，更换电容后，测输出工作电压，依旧没有幻象电源输出。上网查UC3842芯片的工作原理及引脚图，测UC3842的7脚电压，该引脚无输入启动电压，再往后测整流二极管，该管已击穿。更换一只新的二极管后，有输出，工作正常。



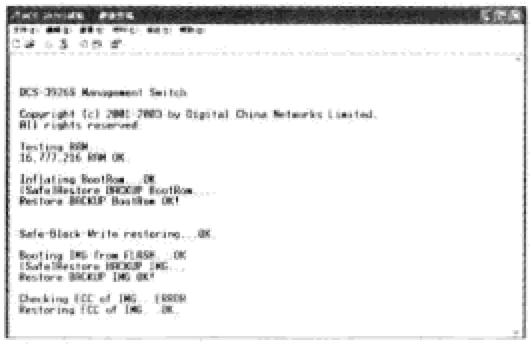


图18 从新系统启动界面

11. 重启后进入配置模式，如图19所示，这就相当于一台新交换机第一次上电进行一些必要的初始设置。

图19 初始设置界面

12. 设置端口为VLAN模式，再通过端口传送新的ROM启动文件并写入Flash，界面如图20所示。

图20 通过TFTP传送新ROM启动文件

到这里，我的维修介绍告一段落了，希望对遇到这样问题的读者朋友能提供一些帮助，可能在这个过程中还会遇到一些特殊情况，大家可借助这个步骤的相关资料进行参考或者到网上找一些帮助吧。我就遇到一台，系统文件损坏了，重传之后

13. 设置完毕，提示按回车结束设置，交换机进入正常工作模式，界面如图21所示。到此交换机的系统修复完毕。一台几千元的交换机就重生了。

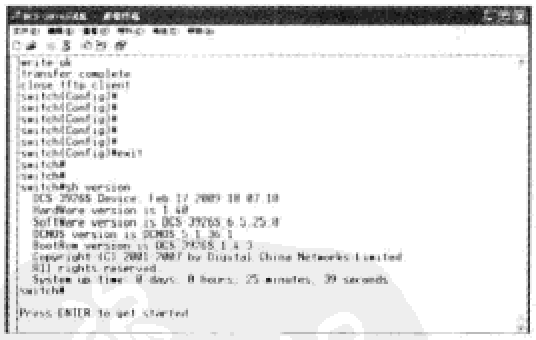


图21 设置结束提示界面

可以启动了，但初始设置还在，而且有密码保护，颇费了一番周折才将原始密码去除掉。但我觉得这就是从事电子行业的乐趣所在，遇到困难再去克服困难，水平也在不知不觉之中得到提高，让我们通过《无线电》杂志共同进步吧！

自己动手维修电风扇

◎王绍华

夏天到了，虽然空调已进入百姓人家，但是电风扇也并没有退役，在初夏和初秋的季节，很多人仍然喜欢使用电风扇。本文以长城牌FS22－40B型电风扇为例，介绍其常见故障的维修。长城牌FS22-40B型遥控电风扇采用专用的单片机MH8822进行控制（各引脚功能见附表），具有3种定时（60min/120min/360min）、4种风类（长周期自然风/短周期自然风/睡眠风/常规风）、3种风速（强/中/弱）、两路摇头（水平/垂直）和照明灯、遥控/手控等功能。为了方便大家维修，本文从其工作原理入手，介绍常见故障的维修。

工作原理

长城牌FS22－40B型电风扇的电路原理图见图1，它主要由下述电路组成。

1. 电源电路

市电经保险管FU加至电源变压器T的初级，由次级降压、VD1～VD4整流、C1滤波后得到约10V左右直流电压。然后分4路输出：第一路送往遥控接收块IC2（MR8181）8脚，第二路送入LED发光二极管排正极；第三路送入摇头及照明灯控制电路；第四路送入5V电源形成电路VT1的c极。经VT1和VD6、R2、C2、C3等共同作用后由VT1的e极输出5V电压，作为单片机IC1（MH8822）和相关控制电路工作电源。

2. 时钟信号产生及复位电路

(1)50Hz时钟信号：50Hz/220V的市电经R8降压、C7滤波后送入VT4的b极，经放大和限幅后得到50Hz方波信号，此信号被送往IC1的7脚，作为计数与过零检测信号，以减少晶闸管导通时对电路的干扰。(2)500kHz时钟信号：IC1的18、19脚外接的500kHz晶体振荡器和电容C15、C16及阻尼电阻R27与单片机内电路共同组成振荡电路，以产生500kHz时钟信号，作为单片机主时钟信号。(3)复位电路：在刚开机时，5V电压加至C14正极，由于电容两端电压不能突变，电容相当于短路，5V电压加至IC1复位端（9脚），使其为高电平，内部开始清零。大约30ms后9脚变为低电平，清零复位工作完毕，电风扇处于待机状态。

3. 键盘与显示电路

键盘矩阵电路是由IC1的3条键扫描输出端27、28、3脚与两条键扫描输入端5、6脚共同组成。可安装3×2即6 个键，但该机只用了5 个键，它们分别是：(1)S1为“定时时间”选择键：在电风扇运转后，若不按S1则为不定时。若按第1下S1键，表示定时60min(此时VD16点亮)。按第2下S1键，表示定时120min（此时VD15点亮，VD16熄灭）。若按第3下S1键，表示定时360min（此时VD14点亮，VD15熄灭）。不论选择哪种定时，LED绿灯排均会点亮。再按第4下S1键，表示又为不定时，依此循环。定时时间一到，IC1的11～14脚均变为低电平，电扇停转。除电源指示灯VD5外，其余指示灯均熄灭。(2)S2为“风类”选择键：在电风扇运转后，若不按S2键，则表示选择的是“常规风”。按第1下S2键，表示选择“长周期自然风”（此时VD19点亮）。按第2下S2键，表示选择“短周期自然风”（此时VD18点亮，VD19熄灭）。按第3下S2键，表示选择“睡眠风”（此时VD17点亮，VD18熄灭）。不论选择哪种风类，LED黄灯排均会点亮。再按第4下S2键，则表示选择的又是“常规风”……如此循环。(3)S3为“风速”选择键：在电风扇运转后，若不按S3键，则表示选择的是

附表　MH8822引脚功能

脚号	功能	脚号	功能
1	功能选择键扫描输出(3)	15	强风指示信号输出
2	蜂鸣器输出	16	中风指示信号输出
3	功能选择键扫描输出(4)	17	弱风指示信号输出
4	公共接地端	18	时钟输入
5	功能选择键扫描输入	19	时钟输出
6	功能选择键扫描输入	20	电源（+5V）
7	50HZ信号输入	21	长周期指示信号输出
8	遥控信号输入	22	短周期指示信号输出
9	复位端	23	睡眠风指示信号输出
10	照明灯信号输出	24	60min定时指示信号输出
11	摇头信号输出	25	120min定时指示信号输出
12	强风信号输出	26	360min定时指示信号输出
13	中风信号输出	27	功能选择键扫描输出(1)
14	弱风信号输出	28	功能选择键扫描输出(2)

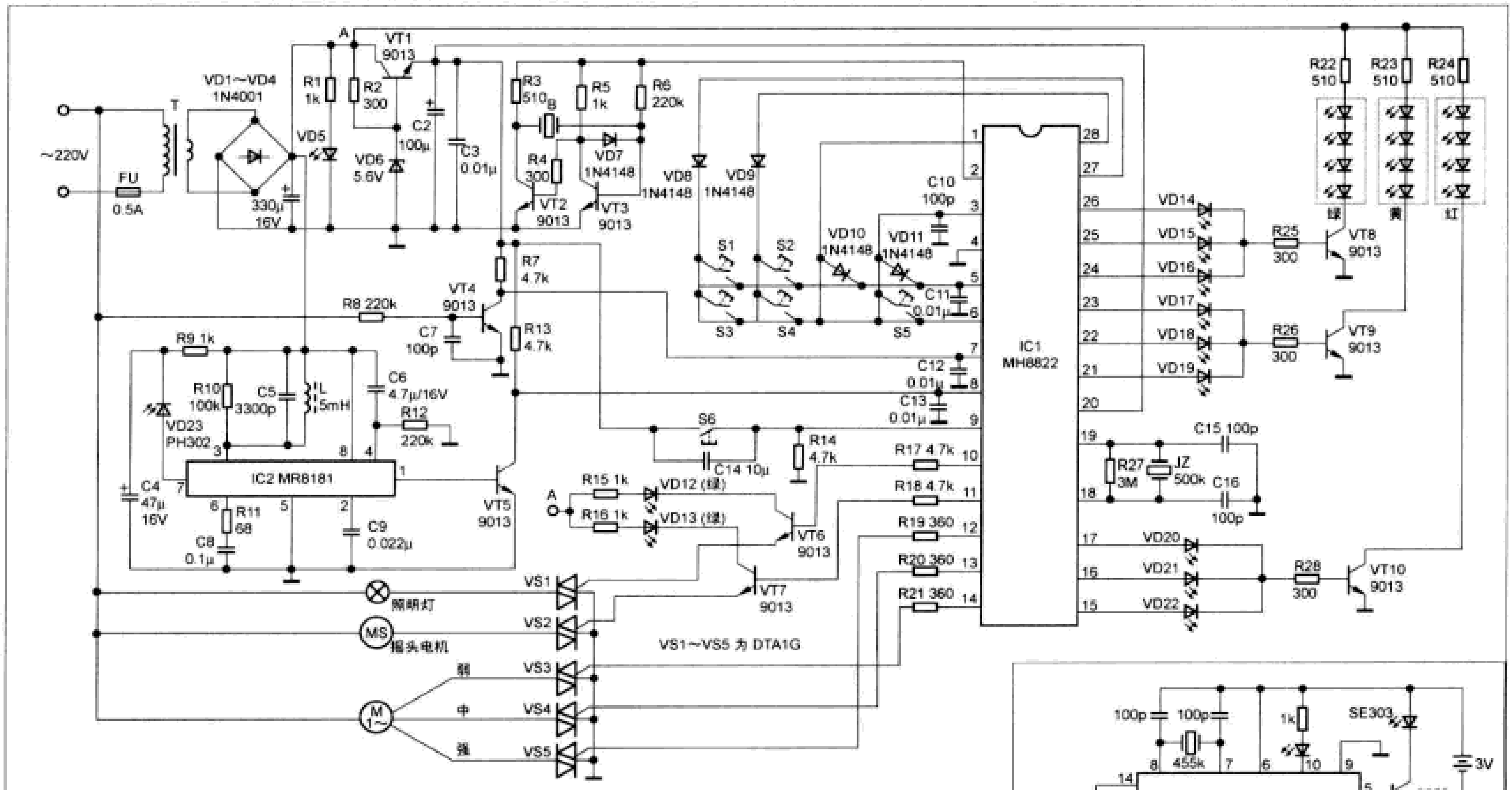


图1 电路原理图

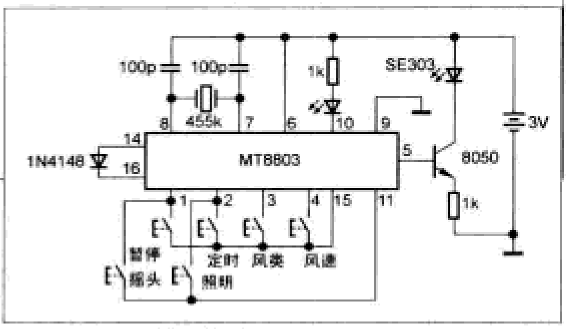


图2 风扇遥控器原理图

“弱风”（此时VD20点亮）。按第1下S3键，表示选择的是“中风”（此时VD21点亮，VD20熄灭）。若按第2下S3键，表示选择的是“强风”（此时VD22点亮，VD20熄灭）。不论选择哪种风速，LED红灯排均会点亮……如此循环。(4)S4为“摇头”选择键　在电风扇运转后，若不按S4键，则表示选择的是不摇头。当按一下S4键后，电机机头同时作水平和垂直方向的摇头，即“∞”字形轨迹运动。再按一次S4键表示又选择不摇头。在摇头时IC1的11脚输出高电平，则VT7导通并触发双向晶闸管VS2导通，使摇头电机MS运转，并驱动摇头机构按设定的轨迹运动。同时发光二极管VD13点亮，作为摇头指示。(5)S5为“照明灯”控制键　电风扇开始工作后照明灯并不点亮，当按一下S5键后，照明灯点亮。同时VD12点亮，作为相应指示。当再按一下S5键后，照明灯和VD12同时熄灭。(6)S6为“暂停”按键　不论电风扇工作在何种状态，只要按一下S6键，IC1的各输出端均变为低电平，电风扇和照明灯均立即断电，各发发光二极管（除电源指示灯VD5外）均熄灭。若再按一下S6键，则恢复原来工作状态。

4. 输出控制电路

(1)风扇主电机控制电路：当IC1的12～14脚分别为高电平时，将会使相应的双向晶闸管分别导通，使电机速度改变，并对应吹出弱、中、强风。(2)讯响控制电路：当操作者每按一下控制键时，IC1的2脚将会输出一次高电平。于是三极管VT2、VT3获得电压开始工作，由于R4耦合和蜂鸣器B的正反馈作用，使VT2、VT3形成一个振荡电路，输出信号通过B发出“嘀”的声响。当松开按键时，由于IC1的2脚输出低电平，VT2、VT3失去电压不工作，故蜂鸣器B停止发声。

5. 遥控发射与接收电路

该型风扇遥控器由发射IC（MT8803）与它周围元件组成，见图2。发射电路的工作电压为2～3.3V，耗电量极低，未操作时耗电不足1μA。遥控接收电路见图1，由IC2（MR8181）及外围元件组成。遥控信号接收二极管VD23把带指令的光信号变成电信号后，随即送入IC2的7脚。经内部选频放大、限幅、检波后解调出遥控信号，再由整形电路变成矩形脉冲信号后由IC2的1脚输出。最后经VT5放大后送入IC1的8脚，由内部译码器译码后执行相应的指令。

常见故障检修

1. 通电后电风扇不能运转

这包括以下三种情况：(1)通电后电机不转，且电源指示灯VD5也不亮。这说明电源输入或整流滤波电路有故障，可逐一检查确认。(2)通电后电机不转，电源指示灯VD5能亮，但操作按键无效。这

巧修投影仪遥控器

◎崔华卿

我校在3个语音室各安装了一台晨星CX615投影仪，因为是吊在棚顶的，所有功能一次性设置完毕，使用时只用遥控器上的开关按键来控制，其他按键均不使用。使用几年后，按遥控器其他按键，指示灯均亮，但按开关按键，遥控指示反而微亮或不亮，使用者只好站在投影仪下用木杆开启、关闭投影仪，很不方便。

打开遥控器（见图1）后发现，所有按键导电橡胶触点都比较小，且中间是空的（见图2）不像其他遥控器按键那样，导电橡胶是一个完整的圆盘。电路板上对应按键触点的中间都有两个焊点（见图3）引线连到其他电路上了，把按键开关对应的这个焊点连线断开，用较细的多股铜线其中一根，把两个焊点连线焊到对应的触点的连线上。把导电橡胶按键中间空的地方，找一块擦铅笔用的橡皮，用刀切一块长、宽、高合适的长条，插到空间里，再找一个涤纶电容，用钳子把外皮打开（找其他薄一点的铝箔也可以），拆下一点用剪刀把铝箔剪成合适的圆片，把有铝箔的一面朝外，用双面胶粘到开关按键上，装好外壳，使遥控器又恢复正常使用了。另外两个遥控器也用同样方法修复了。

这种方法既节省了开支，又解决了问题。

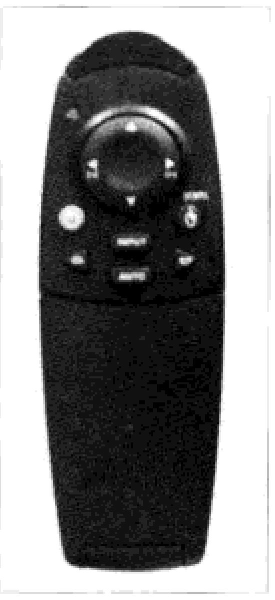


图1

图2

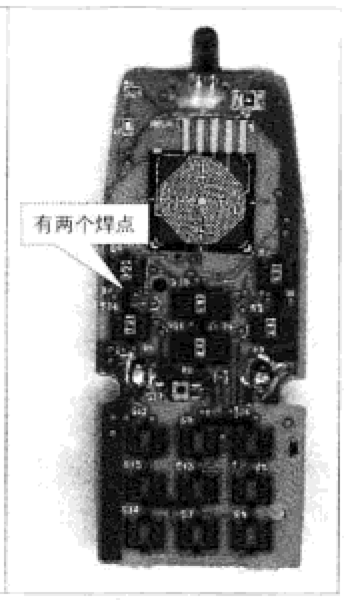


图3

说明单片机工作条件（5V电源、正常的时钟振荡、正常的复位电压）可能不满足或IC1本身损坏。可先查IC1的20脚5V电压是否正常，若不正常，断开IC1的20脚与外界联线再测。若仍不正常，则表明5V形成电路有问题。若正常，说明IC1击穿。(3)通电后电机不转，但电源指示灯VD5能亮，操作按键有效，对应功能指示灯也能点亮。这可能是电机绕组公共端开路或引出线插头松脱。如果同时听到“嗡、嗡”电流声，则可能是电机绕组短路或扇叶与安全罩已碰触。这时通过观察或拨动扇叶即可发现，且时间一长，保险管FU会熔断。

2. 通电后电风扇始终执行某一指令，且操作按键无效。

这说明该功能按键严重漏电或执行该功能的双向晶闸管击穿，可检查排除。比如，通电后电风扇始终在“强风”挡运行，必是风速选择按键S3漏电或双向晶闸管VS5短路。再比如，通电后电风扇始终处于“摇头”工作状态，这极可能是“摇头”工作按键S4或双向晶闸管VS2短路或三极管VT7击穿。

3. 不能遥控操作，但手控操作正常。

这说明遥控发射或接收系统出现故障。可将遥控发射器靠近收音机（置于中波段）。按动遥控发射器按键，若能听到收音机发出的“嘟…嘟”声，则表明发射器基本正常，问题在接收电路部分。若听不到收音机发出的“嘟…嘟”声，则表明发射器有问题。请重点检查电池和发射器内的晶体振荡器。若确认是接收电路部分的问题，首先应查IC2的3脚外接的LC电路元件是否正常，因它决定IC2内部调谐放大器的中心频率。然后可查IC2的6脚外接的R11是否变值，因它决定IC2内部前置放大器的增益。接下来是查IC2的4脚外接的C6是否漏电，因它是IC2内部峰值检波器的滤波电容，若漏电，将无法检出遥控命令信号，致使遥控失效。当然，红外线接收管VD23（PH302）也不能忽略，可通过替换法予以确认。

Q&A 问与答

Q 一台万和牌180-H05型抽油烟机，开机后照明灯点亮，但电机不转，而且电机“嗡嗡”作响。经检查，电机外观无被烧过的痕迹，4μF/500V电容器正常，连接也都良好，不知何故？怎么检修故障？（江苏　刘海华）

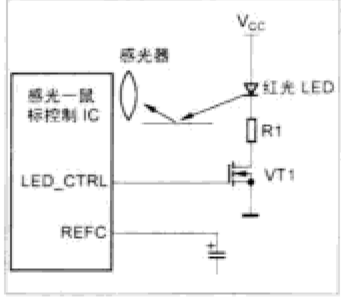
A 电机“嗡嗡”作响，说明220V市电已进入电机，但是启动不良，通常是电机启动绕组或电容断路、主绕组和启动绕组间短路所致。现已排除了电容损坏，故主要是电机绕组不良，可分别测量两个绕组和它们串联后的阻值，如果测量启动绕组阻值很大或断路，说明已断路，应找出断路点，设法连接好即可；若测量两者串联阻值明显小于各自的阻值之和，大都表明两者间存在局部短路，可拆开两绕组的公共接点，将万用表接在两者间，再拨动两组线圈、慢慢分开，看表针指示短路消失时，在此段线圈内垫上耐热薄膜，最后再浸渍绝缘漆即可。如绕组被严重烧坏，通常应重绕或换新的。

（王德沅）

Q 有一个PS/2接口的光电鼠标，拆开清洁后复装好就不能工作了，检查发现底部的发光管不亮了，经反复查看、检测也找不到问题所在，怀疑鼠标控制芯片损坏，但是在清洁中好像并没弄坏什么元器件，不知如何检查？

（天津　李庆、北京　赵奇）

A 光电鼠标电路一般由“感光（鼠标控制）”和“DSP”二块集成电路为核心组成，LED则多采用高亮度红色发光管。LED发出的光线，一部分通过鼠标底部的光学透镜来照亮鼠标底部，另一部分传到感光器正面。LED电路通常如附图所示，V_{CC}通过限流电阻R1和场效应管（或普通三极管）作为LED电源，VT1栅极受控于集成块IC的LED_CTRL端，LED_CTRL端电平变化控制鼠标LED的亮暗。LED不亮大都是电源线路断路或相关元器件脱焊等所致，如果测量V_{CC}正常，可重点检查R1、LED、VT1是否脱焊或损坏，反之应检查V_{CC}的连线和相应的接插件，通常不难找到故障所在。　**（王德沅）**



Q 有一块微星(MSI)小魔怪系列1.8英寸30GB移动硬盘，已经使用半年多，感觉效果不错，但是以前基本都是拷贝较小文件，最近在拷贝一个电影文件时，发现到12G处拷贝失败，用HD TUNE测试表明该处有坏道，不知能自行修复吗？（陕西　钱魏）

A 可试用低级格式化软件进行修复。目前低格化软件不少，这里介绍其中一个：HA-LLFTOOL 2.38绿色免费版。这是款绿色软件，体积小巧，约有200KB，适应系统：WinXP/ Win 2003/Win7。实践表明这个软件上手容易，效果较好，不少有坏道的U盘和移动硬盘用它低格后就搞定了。**（王德沅）**

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 最近我在网上购买了一个“自由豹”2.4G无线鼠标，将鼠标接收器插入电脑的USB插口后，系统有所反应，但鼠标并不能使用，换其他USB插口插入也一样，而且任务栏上没见插入USB硬件后会有的移动磁盘图标，向销售商咨询，说是电脑问题，但插入U盘完全正常，不知何故？（上海　陆民鑫）

A 通常将鼠标接收器插入电脑的 USB 插口后，系统会自动发现新硬件并安装驱动，之后鼠标就能正常使用了，任务栏上是没移动磁盘图标的，这与插入 U 盘等不一样。鼠标接收器正常工作后，电脑设备管理器的“通用串行总线控制器”中会多出“USB Composite Device”设备字样，所以通过查看“设备管理器”，就能判断接收器是否正常工作。如果没多出的设备提示，或者显示带有黄色惊叹号或问号，表明鼠标接收器没工作，通常是与 USB 插口接触不良所致，一般只要清理掉接收器金手指上或 USB 插槽内的异物、污垢或氧化物等就可解决；若两者连接良好，基本判断是鼠标接收器不良。**（王德沅）**

Q 购买了一部奥林巴斯（OLYMPUS）数码相机，发现充电电池的使用时间很短，充了一次电就不能用了，这是为什么？是相机还是充电电池的问题，怎么解决？

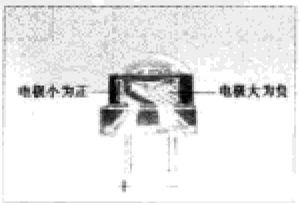
（辽宁　冯培森）

A 首先必须指出，一般数码相机产品随机附送的大都不是充电电池，而是试机用的一次性碱性电池，不能充电，不少消费者会搞错，充不了电还以为电池不良。其次，如果是充电电池而使用时间短，很可能是“电池类型”没设定好，出厂相机往往设定在“碱性电池”上，如果用充电电池，因电量检测电路阈值较高，电池稍微消耗一点，电压有所下降就会使电量检测电路动作，从而相机发出剩余电量不足提示和自动关机。对此，只要打开相机，先后按动“MENU”、“设定”、“电池设定”，选择“镍氢电池”，OK，返回后就搞定了。如设定正确，但电池还是使用时间短，那不是充电电池不良就是相机损坏，通常前者的可能性大，解决办法以调换新件为佳。

（王德沅）

Q 现在LED台灯、应急灯和手电等照明器具已十分普及，这类器具中往往大量应用了白光发光二极管，检修中发现这类管子不但体积很小，而且引脚也短，测量很是不便，还需要有R×10k的万用表才行，不知有无快速分辨发光二极管正、负极的方法？（广东　顾益）

A 可通过观察来分辨发光二极管正、负极，首先可看引脚长短，通常长脚为正，短脚为负。如果引脚无长短或难以区分，则可透过LED外壳观察管芯内的电极大小，一般电极小的为正极，电极大的为负极，如附图所示。　**（王德沅）**



修理耳机和话筒的小助手

◎崔华卿

笔者在大学从事语音室管理工作，也是一名无线电爱好者，在工作中能够把所学的无线电知识投入到实践当中，并解决一些实际问题，这是一件令人愉快的事情。我校语音室每年约有200多个耳机损坏，多数原因是耳机引线内部断路。这种故障用万用表检测时，往往还是通的，但是实际使用时，会有时断时续的“咔啦”噪声，直接影响听音效果。这些耳机如果弃之不用，也是一种浪费。

根据这种情况，本人制作了一款“修理耳机和话筒的小助手”，可以直接检测耳机、话筒的音响效果，比万用表更为实用。本仪器适合3.5mm插头的立体声耳机驻极体话筒的检测。

设计思想

电路如图1所示。电路中包括音频功率放大芯片TDA2822、音乐IC、发光指示电路、微动开关、耳机、话筒插座等。电源开关S1、S2是并联的，制作时，选用了微动开关，利用耳机或话筒插头插入插座时，插座上的动、开簧片摆动，把微动开关S1、S2簧片压下，即可接通电源。

插入话筒后，S1闭合，并且断开音乐IC的通路，对着话筒讲话，即可经过TDA2822放大，在扬声器中听到声音。

插入耳机时，S2闭合，并且断开机内扬声器，声音即可通过耳机发出。

拔下耳机和话筒，电源就自动关闭了（这是本机巧妙处之一）。这样做的好处在于省去插上、拔下耳机、话筒后打开、关闭电源的麻烦，因为检测的时间短，提高了修理的效率。

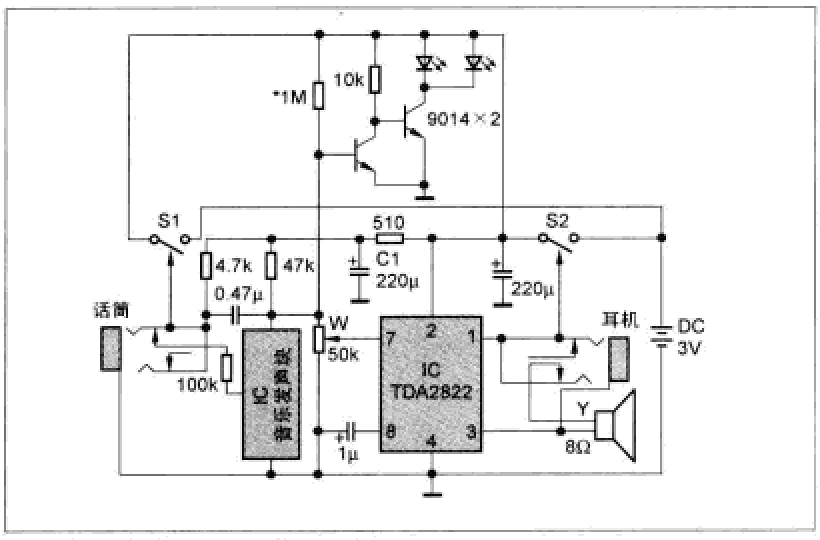
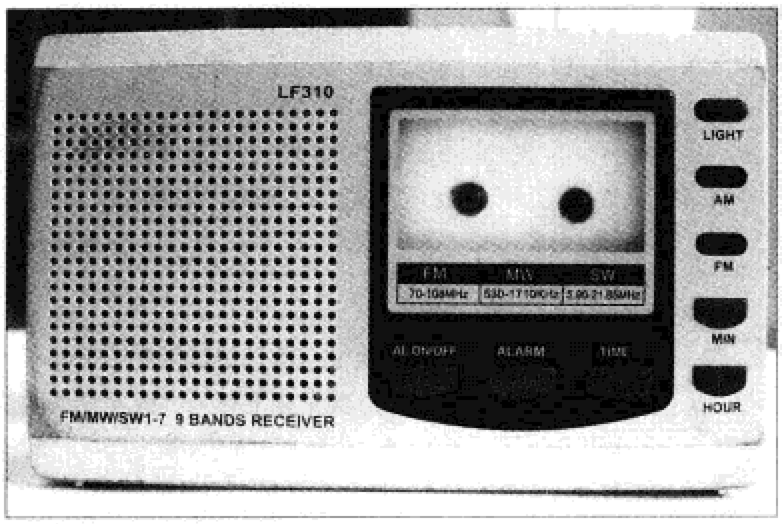


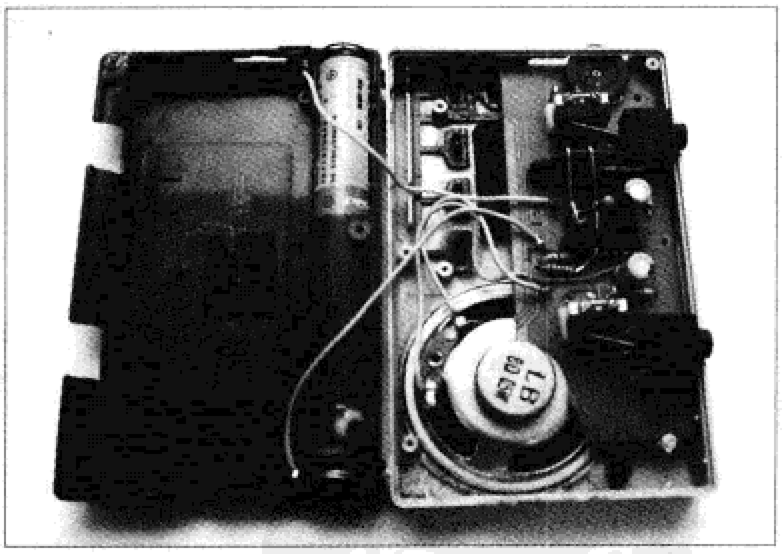
图1 修理耳机话筒小助手的电路图

制作过程

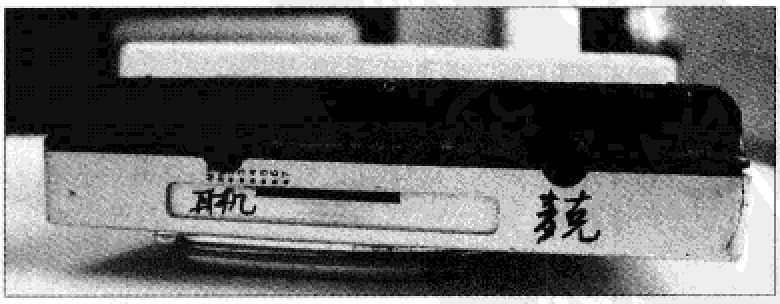
1. 首先找一个合适的外壳，根据外壳的大小安排零件板，笔者利用2节5号电池的小收音机作外壳，整机及内部结构如图2所示。



（a）机壳外形

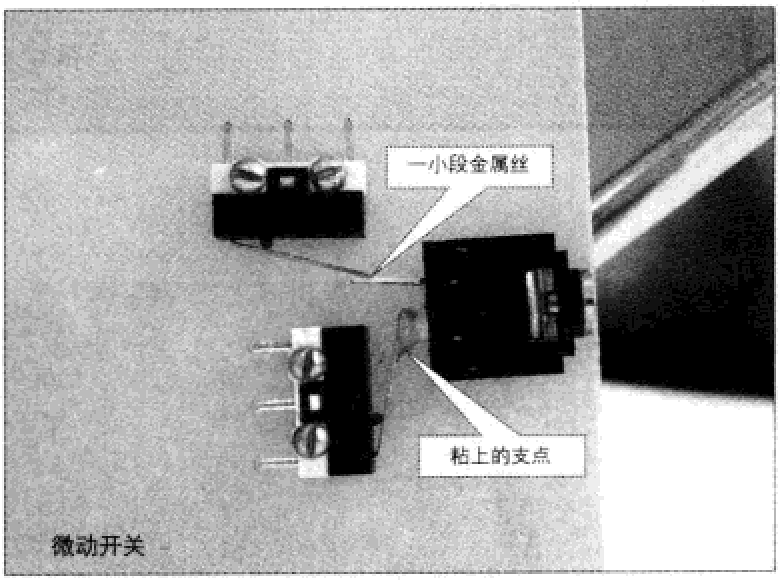


（b）内部结构

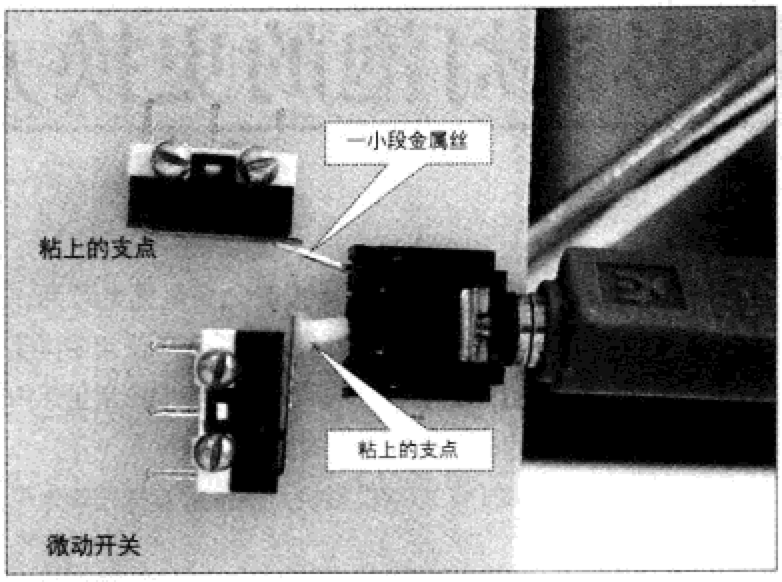


（c）插孔位置

图2 整机外形



(a) 插头插入前



(b) 插头插入后

图3 微动开关与插座的组装

2. 选一种自己喜欢的音乐IC，笔者用的是旧音乐贺年卡上的音乐发声块（这是本机巧妙处之二）。发光指示可选用Φ3 LED发光管，发光指示电路作用不大，可以不加。

3. 微动开关选用标有1A 125V AC带限位簧片的小型微动开关。使微动开关通、断有两种方法，一是在耳机、话筒插座的动开触头簧片上焊一小段金属丝，如剪断的二极管引线。当耳机或话筒插头插入插座后，使焊在插座动开簧片上的金属丝摆动，压下微动开关簧片，接通电源。二是在微动开关簧片上粘一支点，把支点插入插座的孔里，当插头插入后，插头前端顶到微动开关簧片支点上，接通电源。在图3中，给出了两种方法的图示。实际上，本仪器采用了第一种方法。

4. 不管哪种方法都要把微动开关和插座的高度及距离配合好，然后用2×12的螺杆、螺帽把S1、S2固定好，用胶把耳机、话筒插座粘牢。因为零件比较少，笔者采用直接连线焊接。如果焊接无误，装上电池即可工作。

图4 利用安装在烙铁上的白钢片切割导线的外皮

使用方法

拿一只耳机，把耳机插头插入插座的同时，S2闭合接通电源，音乐IC发音经放大器放大后，通过耳机发出音乐声响，可检测左、右耳机响不响，晃动耳机引线是否有“咔啦”声，然后把话筒插头插入话筒插座里，这时S1也接通了电源。由于话筒插头的插入断开了音乐发声块的输入端，这时用“吹气”或“手指弹”话筒的方法捡测话筒是否能发出声响。本机也可以在不插入耳机插头状态下，只插入话筒插头，通过机内扬声器和发光管闪烁检测话筒的好坏。

维修经验

多年来修理耳机不计其数，多数是因为靠近耳机根部引线断开，造成耳机不响或话筒不发声，或者是引线没有完全断开，引起耳机“咔啦”声。如果是右边不响，首先打开右边的耳机检查是否因为耳机伸缩时弄断引线。如果不是，再把左边耳机打开，把引线往里拽到合适位置，剪断引线，因为线比较细，不好处理，笔者是在固定电烙铁头的螺丝上加一个用 0.3mm 厚的白钢片做的线头处理装置，如图 4 所示。在电烙铁热的状态下把耳机或话筒线的塑料护套皮在该装置转一圈，就可以把塑料护套皮切断。然后用手或斜口钳把护套皮去掉，这样做不会把铜线弄断，把剪掉的线头用同样的方法把绝缘皮去掉一点，这时可看到断了或者没有完全断开的地方。如果有断开，证明故障是由此引起的。如果没有断开，可能是剪断的地方不合适，再把耳机上的引线绝缘皮去掉一些，直到找到故障点为止。把对应的线头处理好，上锡焊上即可。再使用“修理耳机话筒小助手”检查一遍，如正常，则修理检测完毕。也有一次性铸塑插头里面开焊和引线中间断开的情况，但相对比较少，遇到这种情况只好再换一根线了。

投影机灯泡的更换方法

◎张建伟

投影机的核心部件之一是灯泡，一般分为金属卤素灯泡、UHE灯泡、UHP灯泡等三种。当投影机正常使用3~4年后，一般都要面对更换灯泡的问题。这种灯泡与我们日常生活中用的不一样，因此在更换时要采用正确的方法。

下面我们就以日立HCP-7100X投影机为例讲解怎样正确地更换灯泡。

首先你要先购买相同规格的灯泡，这种灯泡一般分为裸灯和带灯架二种。每一种品牌的投影机和每一种型号的机器都会使用不同型号的灯泡，它们之间因形状、大小、种类、功率等不同不能相互代替。一般机器的底部都贴有铭牌，上面注有灯泡的型号。在机器的说明书上也会有灯泡使用型号的说明。具体步骤如下。

1. 关闭投影机的电源，拔掉电源线，使投影机至少冷却30分钟。

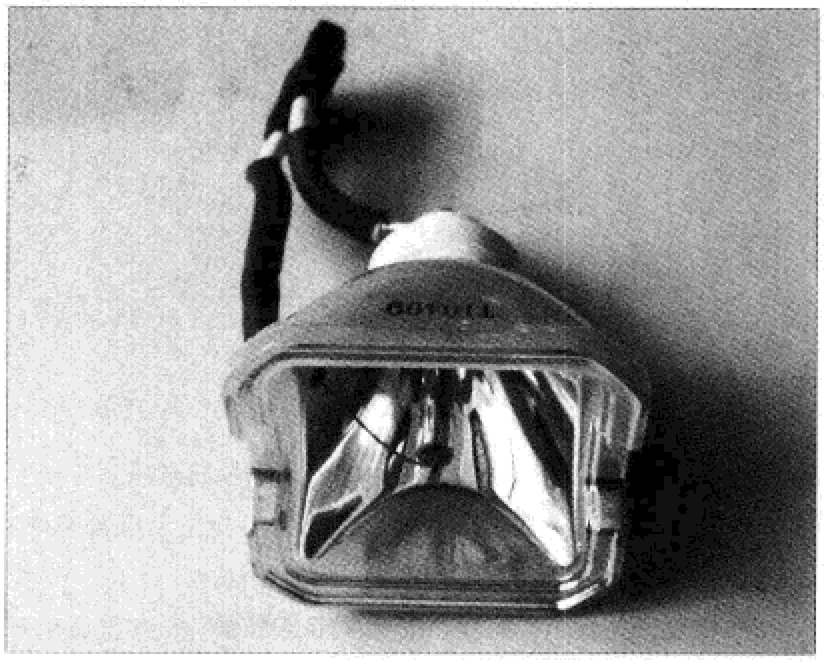
2. 如果是吊装，为了安全起见，先把投影机卸下，平放好。

3. 打开灯罩的螺钉（带箭头标记），然后将灯罩拉出，将其先卸下。

4. 松开灯泡架的3颗螺钉（带箭头标记），然后握住把手慢慢地提起灯泡架。

5. 如果是裸灯，则要小心卸下灯泡架上的固定弹簧，取出灯泡。

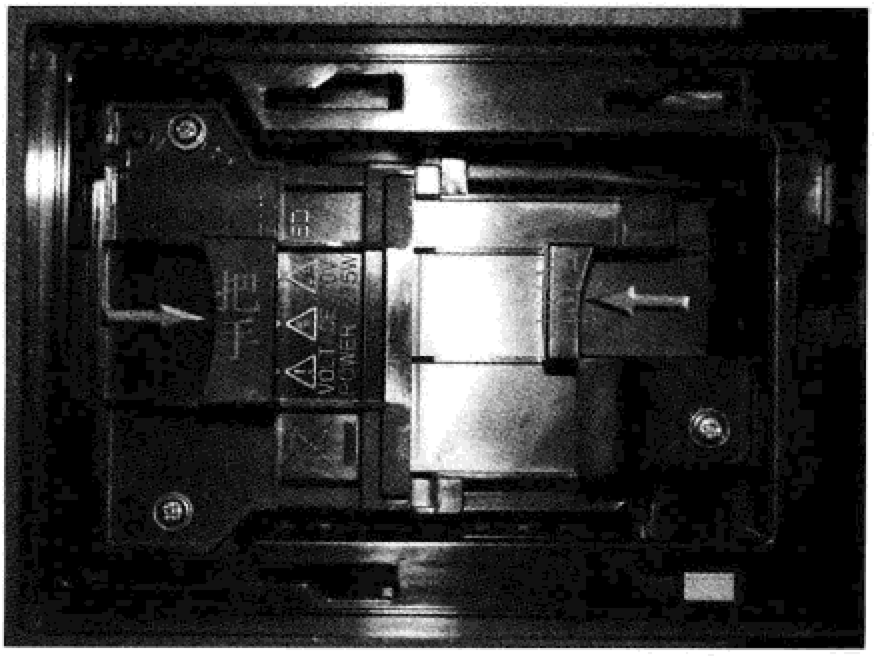
6. 按相同的步骤再把型号为DT00871新灯泡装入架内，把灯泡架慢慢插入机内，拧好螺钉、装好灯罩即可。



裸灯

7. 装好投影机的电源线，开启电源。按下机器面板上“MENU”按钮，打开投影机的菜单选项，在高级菜单选项中，选择“灯泡使用时间”命令，在其下的子菜单中选择“复位”命令并确定。

至此投影机的灯泡更换就完成了。



底座

侧面

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 我家的有线电视线路已经安装多年，使用全景DVT5500EU“机顶盒”，最近突然发现有个别外地“卫视”频道没有声音，而其他频道“图声”都正常，怀疑电视机不良，但是检查后没发现问题，反复调整制式等项目也无效，这是何故？怎么解决？　　（上海　刘强）

A 个别频道无声音，主要是“机顶盒”系统出错造成的，通常只要恢复出厂设置并重新进行频道搜索就可解决，具体方法是（以全景DVT5500EU机顶盒为例，其他大都大同小异）：按动遥控器“导视”键，使电视机进入“导视”界面，选择：“功能管理”→“用户设置”→“输入密码（默认1234）”→“恢复出厂设置”→“频道搜索”→“退出”，即可。注意，频道搜索等需一定时间，要耐心等待，别中途而废。　　**（王德沅）**

Q 新购一个蓝光无线鼠标，使用时感觉不够流畅，打一般游戏时，鼠标移动快些就感到反应迟钝，有停滞感（更别说玩魔兽、CS等游戏了），而用有线鼠标时完全正常，这是什么原因？如何解决？　　（湖南　黄冯荣）

A 首先需要指出，市面上有专业打游戏的无线鼠标出售，普通无线鼠标的性能是无法与其相比的，但是用有线鼠标能打的游戏，用普通无线鼠标一般也不会有什么问题。对于你所遇到的问题，主要原因有：一是鼠标电池电量不足，可调换新电池试之；二是鼠标垫问题。尽管有些无线鼠标能在桌子、硬纸、塑料片、玻璃片等上面使用，但是不适用黑色等颜色的鼠标垫，否则就会出现反应迟钝等现象。此外有的鼠标根本就不需鼠标垫，用了反而不好；三是鼠标底部光电管凹槽的灰尘污垢太多，只要清除就行了。　　**（王德沅）**

Q 一台稳压器中的开关电源功率管2SD1499已经损坏多次，且都是呈现为EB结击穿的特征。经过反复检查，没发现什么异常，管子工作时不太热，说明功耗不大，为何会被烧坏，而且都是EB结击穿？　　（福建　李滨）

A 2SD1499不但应用在开关电源中，也经常用作大屏幕电视机中的场枕形校正功率管。晶体管的损坏主要是因为功耗过大，如工作电流过大或反向高压击穿PN结时的功耗都很大，从而导致PN结过热而物理损坏。管子工作时不太热，并非说明管子所有PN结的功耗都不大。实验发现，2SD1499工作时CE结工作电压只要高于某个数值，CB结就会被击穿，而此时CE结功耗尚在允许范围内，这说明CE结功耗承受力较脆弱。所以，解决问题的重点在于要选择正牌优质管子，同时注意防止高电压对管子CE结的冲击，如适当降低工作电压或增设浪涌电压抑制电路等。　　**（王德沅）**

Q 我购买了一个2.4G无线鼠标，使用两节7号碱性电池，效果还不错，但是两节电池只用了10天就不行了，换上两节新电池后恢复正常，不过这次也只用了两个星期左右，好像耗电很厉害。该鼠标没电源开关，底部的发光管始终是亮着的，这是不是耗电多的原因？如何检修？　　（广东　沈平昊）

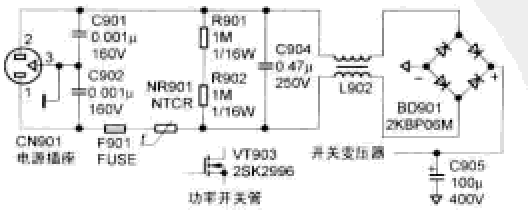
A 除少数品种外，大多数无线鼠标是没有电源开关的，不用时也要消耗一定的电能，一般无线鼠标采用2节或1节碱性电池，通常可用1~3个月，新型省电鼠标可用6个月左右。如果使用时间过短，在电池质量良好的情况下，可检测无线鼠标的电源电流，一般其工作电流为20~40mA，静态（不用时）电流为0.2~0.5mA，如果实测电流明显过大，说明鼠标电路有漏电等故障，可向销售商退换或维修。　　**（王德沅）**

Q 我是一个电子管收音机收藏迷，最近在旧货市场购买到一台上海牌160型电子管收音机。回家仔细试听后发现有些外地电台播音轻,而且伴有轻微叫声，有些电台的声音则有阻塞感，拆机检查，发现该机“中放管”竟然是6Ж1，一般收音机不是大都用6K4吗？问题是否由此而引起？怎么解决？　　（浙江　许康）

A 6Ж1是前苏联产的锐截止五极管，多用于高放，与国产6J1管脚功能相同、特性类似，而一般超外差式电子管收音机大都用遥截止五极管6K4作为中放管。由于锐截止五极管不适用于AGC（自动增益控制）控制电路，用6Ж1代替6K4，就会出现信号阻塞，啸叫等现象，而且增益也不如6K4。对于信号阻塞，可在AGC滤波电容（0.047~0.1μF）两端并联一只470kΩ左右的电阻试试。至于外地电台播音轻且伴有叫声的问题，则可通过微调中频变压器的磁芯来改善。不过6Ж1毕竟不适于作为中放管，所以治本的办法还是换用6K4。　　**（王德沅）**

Q 一台电脑的液晶显示器在工作中突然熄灭，变成“黑屏”，电源指示灯也不亮，据查为电源主板损坏，不知能否只调换损坏的元器件而修复？　　（山西　胡晓峰）

A 这种故障大都是电源电路遭受雷击或电源浪涌电压冲击所造成，也有少数是高压等电路元器件损坏所致，通常大多不需调换板子就可修复。对于电源电路的故障，常见多为保险丝、整流管、滤波电容、电源控制芯片或开关管等损坏所致。以附图所示的冠捷液晶彩显为例，显示器电源电路较多发生故障的主要是保险丝管F901、整流桥BD901、电源滤波电容C905和开关管VT903等，尤其以F901和C905损坏为多见。查出损坏的元器件后，只要换上好的配件就能排除故障。　　**（王德沅）**



自己动手检修豆浆机

◎易章波

随着生活水平的提高，人们越来越重视自身的保健和营养，家用豆浆机也是比较热销的小家电。本文以龙的牌NK—1008型自动豆浆机为例介绍该型豆浆机工作原理及常见故障的检修方法。

工作原理

龙的牌NK—1008型自动豆浆机能完成加热、打浆、煮浆等工作，并具有缺水保护、防溢保护、过热保护、声光提醒及工作时间锁定等功能，其电路原理见附图。该豆浆机的工作过程是：当接通电源后，220V市电经温度保险管BX1（0.5A/250℃）加至电源变压器B的初级，经次级降压、VD1～VD4整流、C1滤波后得到约12V直流电压，作为继电器J1、J2及讯响器Y的工作电源。另外12V电压还经R1限流、IC2（LM7805）稳压后变成5V直流电压，作为IC1（MC0137）及发光二极管工作电源。此时电源指示发光二极管VD7（红色）点亮→IC1的10脚输出高电平→控制管VT3导通→C极为低电平→经接插件CZ1使讯响器得电→发出“嘀”的一声响。与此同时，IC2输出的5V电压对IC1的4脚外接电容C13充电→4脚电压开始上升→大约经30s后4脚电压升至5V→IC1进入待命工作状态。此时如果按一下“加热”键S1,则IC1的9脚变为低电平→“6min”指示灯VD8（橙色）点亮，同时IC1的10脚有一高电平脉冲输出→控制管VT3导通→c极为低电平→经接插件CZ1使讯响器得电→发出“嘀”的一声响，表示加热开始。此时IC1的17脚输出高电平→控制管VT2导通→继电器J2工作绕组通电→常开触点JK2闭合→电热管得电发热。与此同时，在IC1内部的倒计时电路开始计时，经6min后，IC1的17脚变为低电平→常开触点JK2断开→电热管停止发热。此时IC1的10脚输出连续脉冲，使VT3处于开关状态，讯响器发出连续“嘀、嘀”声。同时IC1的9脚电平也在高→低→高→低→高→……之间跳变，使“6min”指示灯不停闪烁。大约持续30s后，讯响器停止发声，“6min”指示灯熄灭，但“完成”指示灯VD11（白色）点亮，以提醒用户预加热程序已结束（该过程是为了使黄豆膨胀软化，为磨浆程序作好准备）。

这时若按一下“豆浆1”键S3，则IC1的7脚变为低电平→“清香”指示灯VD10（绿色）点亮→IC1的10脚有一高电平脉冲输出→控制管VT3导通→讯响器得电→发出“嘀”的一声响。此时IC1的17脚输出高电平→控制管VT2导通→继电器J2工作绕组通电→常开触点JK2闭合→电热管得电，再次发热直至水沸腾。此时大量上升水蒸汽和水泡会接触到防溢出检测电极，在这种情况下IC1的17脚会跳变为低电平→继电器J2常开触点JK2断开→电热管停止发热。此时IC1的13脚输出高电平→控制管VT1导通→继电器J1常开触点JK1闭合→高速电机得电带动研磨刀片高速旋转。大约40s后IC1的13脚跳变为低电平，电机停转。经20s后IC1的13脚又跳变为高电平，电机又旋转。但工作时间一次比一次短，如此反复3次。最后一次电机停止2min后，IC1的17脚又输出高电平，电热管发热将豆浆加热至沸腾。当豆浆泡沫上升至防溢出电极时，IC1的11脚变为低电平，使IC1的17脚输出低电平→电热管停止发热→豆浆泡沫下降脱离防溢出电极→IC1的11脚重新变为高电平→IC1的17脚又输出高电平→电热管发热。当豆浆泡沫上升至防溢出电极时，电热管又停止加热……如此多次反复，但加热时间一次比一次短。其目的是既要将豆浆彻底煮熟，又不至于产生过多的泡沫。大约过6min后，IC1的10脚输出连续高电平脉冲，使讯响器发出连续“嘀！嘀！”声。同时IC1的7脚以1HZ的频率断续呈现低电平，故“清香”指示灯VD10以1Hz的频率闪烁。大约经40s后，IC1的6脚变为低电平，“完成”指示灯VD11点亮。此时操作者可将豆浆机头（豆浆机由机头和浆壶两大部分组成）向上提起，豆浆则自动从滤网中过滤出来，留在下面的浆壶中（机头下方过滤网中的豆渣可取下滤网后倒出），于是，一壶喷有清香风味的豆浆即做好了。

若在预加热程序结束后按一下“豆浆2”键S2，则程序与上述相同，只是加热时间稍长一些，这样得到的是一壶“浓香”风味的豆浆。“停止”键S4是为操作者因事要离开而设置的。当操作者因事要离开时，可按一下该键以终止程序。该型豆浆机有多种保护功能，除上述防外溢保护外，还有：

1. 缺水保护：当壶中水量低于安全水位，即水没有将研磨刀（电机外壳）完全浸没时，IC1的12脚为低电平（若水将电机外壳浸没后，5V电源会经水加到电机外壳，使IC1的12脚为高电平），内部控制电路会使17脚为低电平而停止加热。此时讯响器会一直发出急促“嘀嘀”声，以提醒用户，直至把水补至水壶标准水位线刻度之间或把电源插头拔掉，讯响器才会停止鸣叫。

2. 过热保护：在电热管外壳固定

有负温度系数热敏电阻RT作为温度传感器。当壶中水温升至100℃以上时，IC1的1、3脚间电阻将减小至设定值以下，于是IC1的17脚转为低电平而使电热管停止加热。另外，该型豆浆机还有时间锁定功能，即豆浆机开始工作 30min后会自动停止工作，以避免电机长时间工作而损坏。

故障检修

1. 通电后电源指示灯VD7不亮，豆浆机也不工作。

这可先查电源保险管BX1是否熔断。若正常，再测滤波电容C1两端是否有12V直流电压。若也正常，则应查三端稳压器IC2是否有5V电压输出。若没有，可能是R1开路或IC2损坏（含滤波电容C3、C4击穿。若5V电压正常，VD7应点亮）。

2. 通电后电源指示灯VD7点亮，但按“加热 ”键S1却不能加热。

这应查IC1的17脚是否已输出高电平。若没有，在IC1的4脚为5V高电平的情况下，可能是IC1已损坏。若IC1的4脚为低电平，则是C13短路或R2（51kΩ）开路。假若IC1的17脚已输出高电平，应再测VT2的c极是否为低电平。若为高电平，则是R5或VT2损坏。若VT2的C极是低电平，再测电热管两端是否有220V电压。若没有，在温度保险管BX2（7A/250℃）正常情况下，应是继电器J2常开触点JK2未闭合，应更换J2。如果在上述检查中，电热管两端有220V电压，表明电热管已损坏，只能更换。

3. 加热正常，但在“豆浆1”、“豆浆2”程序中，电机不能旋转。

该故障应先检查水是否将电机完全浸泡。若没有，应加水使水壶水位在标准水位刻度间再试。若电机已被水浸泡，可检查IC1的13脚是否已输出高电平。若没有，应考虑IC1已损坏。若已输出高电平，再查VT1的c极是否为低电平。若不是，则是R4或VT1本身损坏。若VT1的c极是低电平，再测电机电源输入端子是否有220V输入电压。若没有，则一定是继电器J1损坏（因加热正常，说明温度保险管BX2正常）。

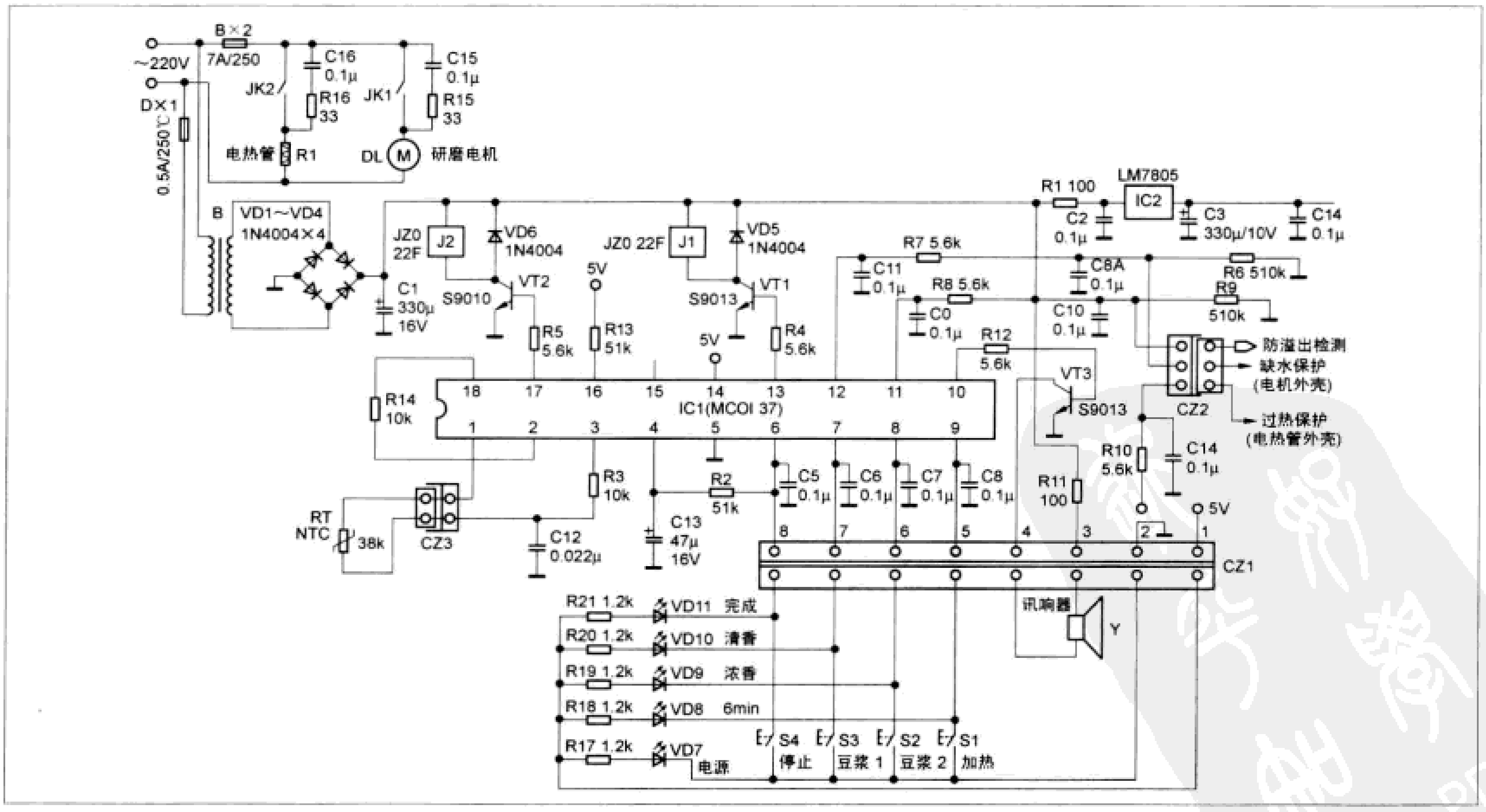
4. 讯响器Y不发声。

可先用万用表R × 1或R × 10k挡检测讯响器输入端子，若有“喀……喀”声，说明讯响器正常（否则说明讯响器损坏）。接下来可检查接插件CZ1的3、4脚接触是否正常、VT3、R12（5.6kΩ）是否损坏。若均正常，则是IC1内部脉冲发生器损坏，只能更换IC1。

检修实例

例1 通电后电源指示灯不亮，机器不工作。

经查，保险管BX1已熔断，更换后试机再次熔断。据此，说明电路存在短路故障。最后，检查发现12V滤波电容C1（330μF/16V）已严重漏电。更换后试



巧修电脑显卡

◎陈天宇

电脑是我们生活和工作的好帮手，很多人在电脑硬件损坏后毫不犹豫就把它拿到外面维修或者索性买一台新的回来。但是作为常看《无线电》杂志的读者，对电子有一定认识，不妨在拿去维修前自己先看看，能否用自己学过的知识来解决问题，说不定能够省下许多时间和金钱。

前不久，笔者就遇到过电脑出现问题，并经过多番排查与研究，最终用几元钱解决了这个问题。

笔者的电脑是4年前自己装配的，用了这么多年一直运行良好。不过最近突然出现死机情况，并且出现的频次越来越密，每次死机时都是整个屏幕不动，也就是屏幕突然出现不刷新的情况。当这种情况发生时唯一的解决方法就是按主机上的重启键，重启以后电脑就能够正常运行了，但这样的状态维持了不久，更严重的情况出现了，开机后电脑不能进入Windows的桌面，每次开机都只能到“欢迎进入Windows”的蓝色界面，然后就死机啦。

不能进入Windows的原因有很多，有可能是软件问题，也可能是硬件问题，不过进行问题排查一般先从比较容易的软件方面开始。当然，即使是这样，由软件引起的也分成很多种情况：如有病毒破坏系统造成的、系统文件缺失造成的、或者软件冲突、驱动问题等。

因为现在不能进入Windows的界面，按照平常的思路，首先要尝试进入安全模式，看能否发现什么东西。接着笔者在开机时按下F8，选择“安全模式”，很幸运的是电脑能够正常进入安全模式，久违的桌面图标重见天日。当系统进入安全模式后，是不会加载第三方驱动程序，系统运行在最小模式，在这里可判断是程序冲突或者其他软件问题。但是我并没有找到任何电脑病毒或软件冲突的痕迹，最后只能重装系统。不过，重装后故障依旧，这时我意识到这并不是软件的问题，于是把问题排除的方向调整到硬件方面。

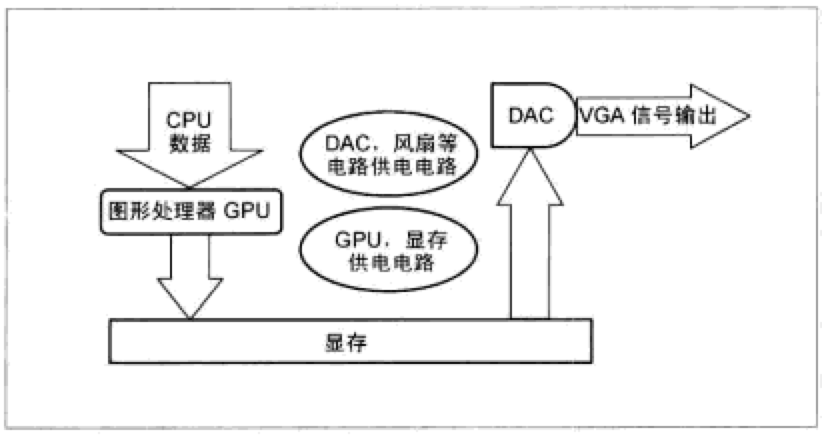


图1

如果是硬件问题，我怀疑是内存问题。因为在安全模式下由于启动任务较少，占用的都是低位的内存，而高位的没有用到，所以内存块损坏的可能性是有的。不过这个原因很快被否决了，我把电脑上的内存放到其他电脑上进行测试，结果内存通过了测试，而且状态良好。

经过以上如此多的测试排除，最终把故障位置定在了显卡上。在判断显卡故障之前，笔者先介绍一下显卡的工作原理（见图1）。

机，故障排除。

例2 接通电源后不能加热，但“6min”指示灯能点亮。

经测，IC1的17脚已输出高电平，但查VT2的c极却为高电平。显然，只能是VT2或R5损坏。最后，查出是VT2的b、e极开路。更换VT2后开机，故障消失。

例3 在研磨时，电机转速时快时慢，有时甚至停转。

该现象说明IC1已发出研磨指令。电机工作不正常，说明电机电源不正常或电机本身有问题。故决定先查电机输入电压，结果发现电压时高时低，有时甚至没有。测市电输入电压正常，故怀疑继电器J1常开触点JK1接触不良。焊下J1检查，发现JK1触点由于工作在大电流时开时闭状态，其电弧已将触点烧蚀。于是用JZC-22F（20A/12V）继电器更换原继电器（10A/12V），并将灭弧电容C15（0.1μF）更换为0.22μF后试机，故障彻底删除。

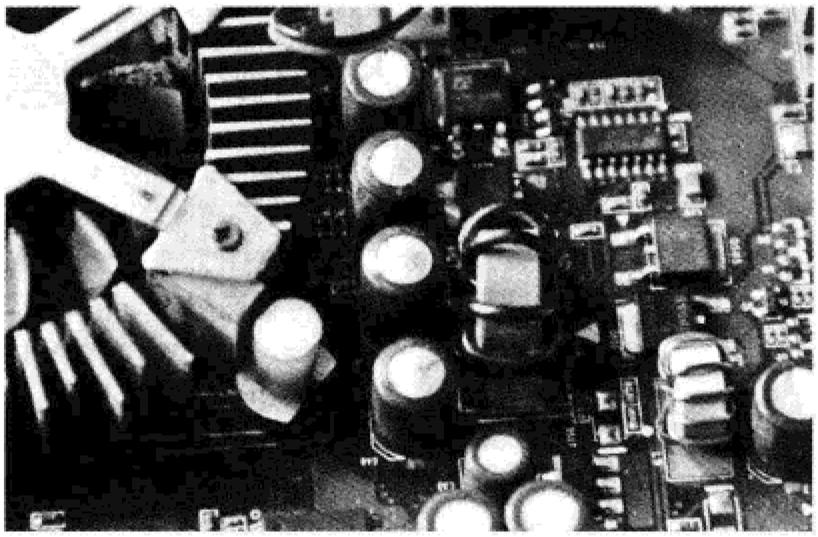


图2

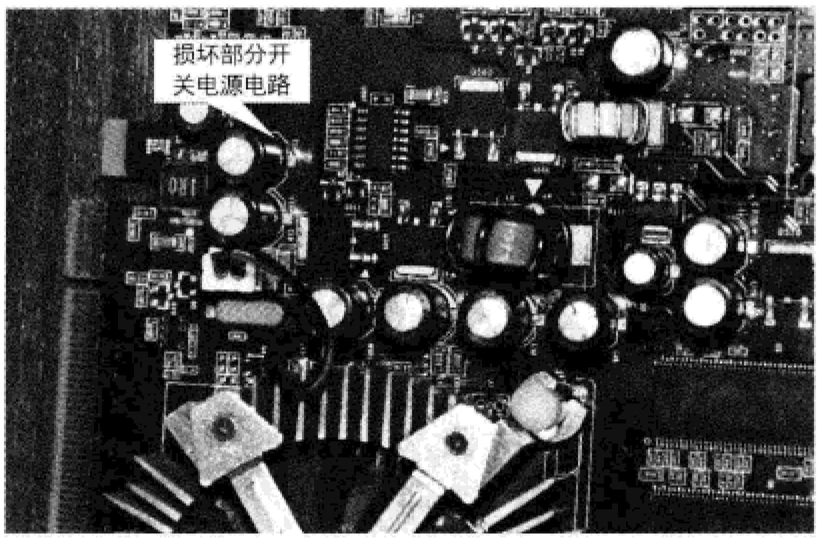


图3

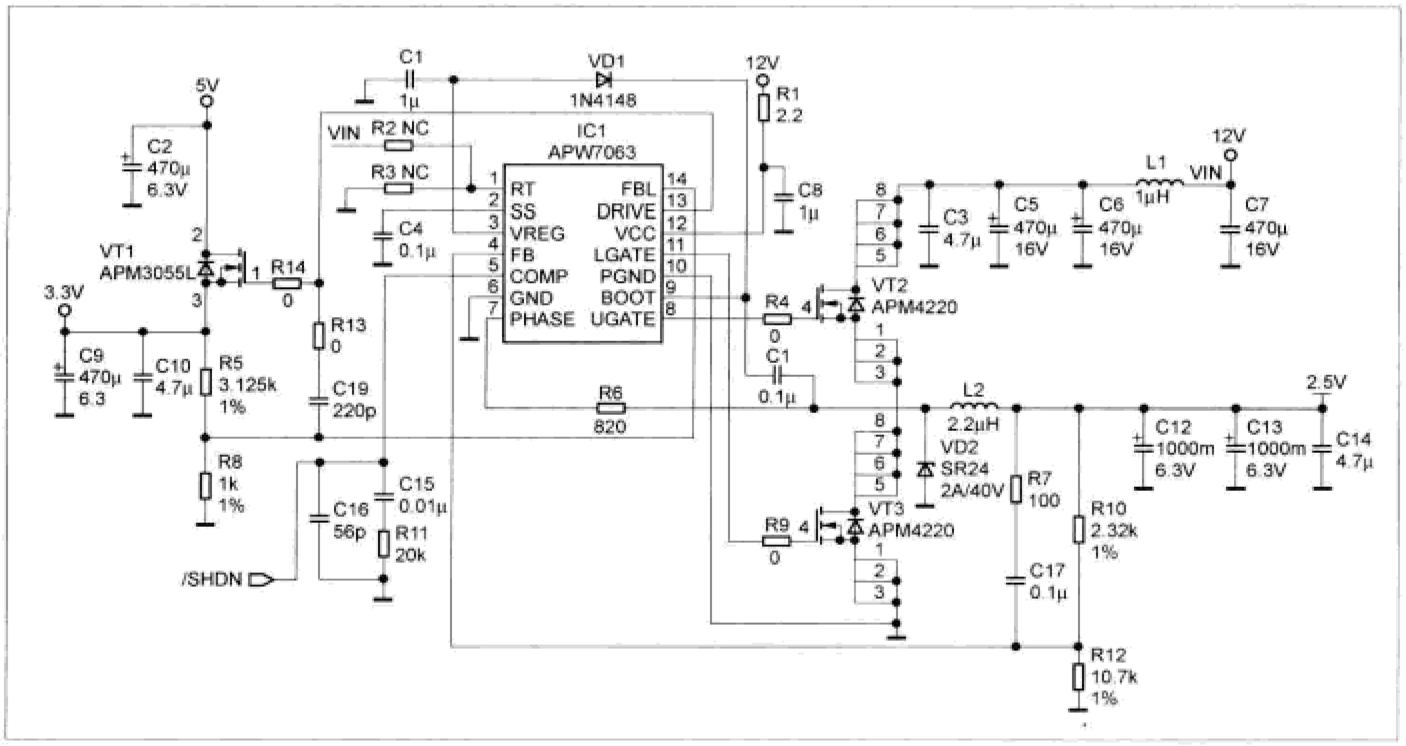


图4

CPU把要处理的图像数据经过北桥芯片发送到显卡中的图形处理芯片GPU中，这些数据在GPU中进行运算加工后成为显示器能够“读懂”的数据流。但由于GPU的处理能力很强，数据不能够一下子就涌出去，所以需要有一个缓冲器，这个缓冲器就是我们平常所说的显存，它把GPU处理好的数据暂时存储起来，当有需要时就发送到DAC，由VGA接口把信号传送到显示器。

按照显卡的工作原理来分析，既然显示器能够显示图像，则GPU、显存等重要部分没有损坏。经过简单的判断，笔者决定先把显卡拆出来，对其进行“望闻问切”。当我把显卡拆卸下来，发现有3个470μF的电容鼓起（见图2），有爆浆现象并有黄色物质残留在顶盖上。

问题应该集中在这3个爆浆电容和相关电路上。经过对电路的分析，显卡故障出在开关电源电路上（见图3）。本显卡电源由两组芯片进行供电，一组是intersil公司的ISL6549芯片，这组电源主要为显卡的GPU和显存供电，通过改变ISL6549反馈电阻的阻值可以提高输出电压，从而可以使显卡超频运行。另一组是采用茂达电子的APW7063芯片，主要为风扇、DAC等其他器件供电，而爆浆电容就在这组电源中。图4所示的是它的应用电路图，此次出现的故障主要还是在12V输出电路上。输出滤波电容出现爆浆有可能是电容质量差，加上天气炎热造成，但也有可能是图中MOSFET管（VT2）被击穿。为了判断电容被击穿的具体原因，笔者把VT2拆出，用万用表对MOSFET的源极和漏极进行测量，结果发现VT2完好。最后，只需要把3个爆浆电容（C3、C5、C6）换成质量好而且相同容量的固态电容就彻底解决这个显卡的问题。

换好了电容，要先确认一下输出电压是否正常。先把显卡插回电脑，打开电源，迅速用万用表测量刚才新换上电容的两端电压，结果电压正常，十分稳定。这时电脑已经进入了Windows的界面，开机后运行了好几个大型游戏都没有一点问题，事件完美解决。因为换上的是固态电容，以后也不用害怕有电容爆浆问题啦。

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 为了收藏需要，最近我淘到了一台牡丹牌511型电子管收音机。这台收音机年代较久，里面少了两个电子管，其中一个变频管6A2П已经在本地旧货市场购到，但是整流管6Ц4П无法购到。据说可用晶体二极管代替，不知用什么管子代换较好，最好不要改动底板电路，以便复原，行吗？（山东　郭永华）

A 6Ц4П是前苏联产的旁热式双阳极整流二极管，常用于电子管收音机的全波整流电路，与国产6Z4的功能和特性相似。6Ц4П可用晶体管代换，6Ц4П的最大阳极反向峰值电压为1000V，最大整流电流为750mA，可用常见的1N4007直接代换。如果不希望改动底板电路，可找一个类似6Ц4П的废7脚电子管，再将两个1N4007的正极和负极分别连接在相当于6Ц4П阳极和阴极的废管管脚上即可，注意要剪断废管灯丝等与原电路有联系的管脚，或者剖开废管，只用其底部也行。**（王德沅）**

Q 一款QHAYO口香糖型MP3播放器，开机几分钟后就会自动关机。该机原先正常，但一次不慎掉入面盆中，取出后擦除机壳里外的水渍，开始试机时无声，想拆机检查，但是难以拆开，后来也不知捣鼓了什么，突然播放正常了，但是后来却发生了自动关机故障，这是何故？怎么解决？（广西　吴翟奇）

A MP3播放器自动关机故障大都是电池电压过低、调节不当或电池电压检测电路不良所造成的。该机使用一节5号电池，首先应该检查电池电量，如果不足就要换新。特别要注意有些MP3用户喜欢使用充电电池，其电压本来就较低，应该充足电后使用。电池电压正常后，再按播放器M键，设置“自动关机”为“禁止”，这样大都就可恢复正常。倘若仍不行，那么大都是电池检测电路不良引起的，由于该机进过水，很可能是水垢引起的，可拿掉电池，打开电池仓，在阳光下晒几天再试机，大多会有效果。**（王德沅）**

Q 我经常需要在电脑和移动硬盘（支持USB2.0）两者之间进行电影和资料等的拷贝、交换，但是我家的电脑是数年前生产的，其传输速度很慢，拷贝较小文件时还不觉得什么，可要是复制或读出像电影、图库等大文件时，那就真要急煞人了，经常需要忍受几个小时的“折磨”，而且往往还会发生拷贝失败或不全的问题，不知有无较好的解决办法？（江苏　李伟杰）

A 这是电脑USB插口电路的传输速度太慢所致，通常只要安装一块PCI-USB扩展卡就可解决问题。目前市面上常用的PCI-USB扩展卡主要有两种，一是采用日本NEC D720101芯片的扩展卡，另外一种是以我国台湾“威盛电子公司”生产的以VT6212L单芯片主控制器为核心组成的扩展卡，两者性能都不错，前者的稳定性更好些。购买了扩展卡后，可打开电脑机箱，找到空闲可用的PCI插槽，将扩展卡插入PCI插槽，注意要插好，再拧紧螺丝就可试机了。**（王德沅）**

Q 一台奔腾PC18E型电磁炉开机后无反应，经检查，发现开关电源中的芯片VIPER12A、二极管VD14、VD15等被烧坏，而且二极管附近的印制线路板被烤焦变色。按照电路图上的标注，换上同型号元器件，通电后发现VD14温升严重，再换一个同样的二极管还是一样，是电路还存在故障还是二极管的问题？（河北　成城）

A 该机VD14在电路图上标注的型号是4007，但不是常见的1N4007，而是快恢复二极管UF4007，其反向恢复时间*Trr*为75mμs，一般用于几十到几百kHz较高频率下的高压整流。而1N4007的*Trr*为30000mμs，远大于UF4007，通常用于工频、低频下的高压整流。两者型号相似，但Trr特性大不同，如用1N4007代换UF4007，就会过热而损坏，而不少爱好者往往不了解这点，就会使维修陷入困境。在一般电磁炉电路中，可用BYV26D、BYV26E、FR157、1N4948等管直接代换UF4007。**（王德沅）**

Q 新购一台深圳产的“不见不散”牌LV520-Ⅲ便携式音箱，音响效果不错，感到满意。但是最近发现许多歌曲在液晶屏的显示都是“未知曲目”，这是显示电路故障还是软件问题？怎么解决？（浙江　姚智武）

A 出现这种现象主要有两种原因：一是歌曲文件本身没有标签信息。对此可用WINAMP等播放器打开MP3歌曲文件，查看文件信息，如果没有ID3标签信息，自行填入更新即可。二是音箱中的MP3播放器固件出错所致，只要重新升级固件即可。具体措施是：去厂商的官方网站下载对应的固件文件和升级工具软件，把升级工具解压缩并安装到电脑上。打开升级软件，按说明书操作即可完成升级。升级固件可修正固件出错或原程序设计的不足或错误，改进功能或性能等，许多用户乐此不疲，但千万不能用错固件，而且操作需十分仔细耐心，否则可能白费时间和精力，还不一定能搞好。**（王德沅）**

Q 我有一台　“不见不散”牌LV520-Ⅲ便携式音箱，最近在插入SD卡时不慎插反，结果SD卡被卡在插口中而不能拔出。想用钳子拔出，但又怕硬拔会弄坏记忆卡，虽然记忆卡价格并不昂贵，但里面可是存放着我经过多日才搜集到的400多首经典歌曲，而且大都没有备份。不知怎么才能无损取出该卡？（上海　马晓军）

A 这种故障比较常见，而且不局限于这种牌号，处理不当的实例也不少，往往造成较大损失。其实，该机采用的是TF卡，通过适配器插入音箱的SD卡插口。如果卡住，不可硬拔乱撬，否则极易弄坏。通常可用镊子先拔出TF卡，因为TF卡与适配器的配合一般不太紧，容易拔出，这样可保证TF卡不被损坏。拔出后，再用钳子或镊子拔出适配器，如果适配器卡得太紧而不能拔出，应该拆卸机器，拿出电路板再拔就容易多了。**（王德沅）**

索尼摄录一体机偏色故障的维修

◎李惠平　李保平

DSR-PD150P、DSR-PD190P是索尼公司生产的掌中宝专业数字磁带摄录一体机，它采用DVCAM格式，兼容民用DV格式的记录及重放，拥有专业的图像质量和极高的性能价格比，广泛用于电视台、企事业单位、文化影视广告公司、婚庆制作公司及DV发烧友。

由于索尼DSR-PD150P、DSR-PD190P摄录机的社会拥有量比较大，所以本文仅就其常见故障之一——拍摄偏色故障的形成原因及维修，改进方法做一简单介绍，希望对广大的使用者及维修者有所帮助。

DSR-PD150P、DSR-PD190P摄录机使用一段时间后，尤其是在经过强烈震动后（如机器跌落或受到碰撞等），在拍摄状态（CAMERA）下LCD液晶显示屏容易出现偏色现象，如图像呈黄绿色，有时也会变成紫红色，严重时伴有图像闪烁等故障，而将其电源开关置于录像状态（VCR）重放磁带时，液晶屏颜色显示却是正常的，这说明故障出在摄像部分，与录像部分无关，该故障一般多见于使用一两年的机器。

究其原因，主要是成像器件CCD连至主板插座上的插头松脱而产生接触不良，从而造成拍摄图像偏色。

故障形成的原因

通过检查，发现摄录机成像器件CCD组件与主板的连接在设计上存在一定的缺陷：首先固定在机壳上的CCD组件排线插头与固定在机芯主板上的插座采用无锁扣直插式垂直（与线路板平面垂直）硬连接，连接插入深度有限，其次连接插头的薄膜排线设计得较短且较硬，无缓冲余地，而插头与插座之间又无锁扣固定，所以即使将插头正常安装到位后，在固定机芯时也容易再次将插头从插座中拔出一定距离，造成插头安装不到位。还有，由于震动等因素，在插头与插座连接方向上的相互应力作用下，也会使插头从插座中拉出一定位移，从而使插头与插座发生松脱产生接触不良。图1所示的是机芯主板与机壳底座，图2所示的是机壳底座上的排线插头与机芯主板上的插座，图3所示的是短且硬的排线插头，图4所示的是机芯主板上的插座。

另外笔者在维修多台摄录机后还发

图1 机芯主板与机壳底座

图2 机壳上的排线插头与机芯主板上的插座

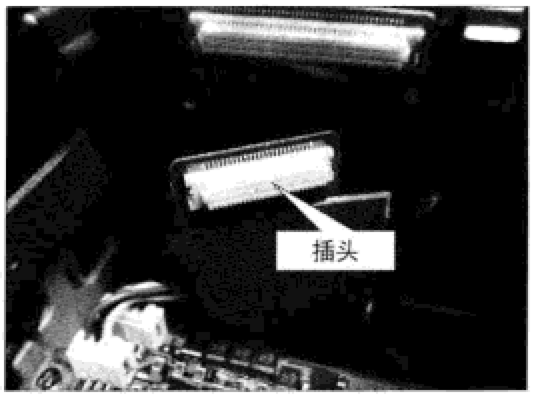


图3 短且硬的的排线插头

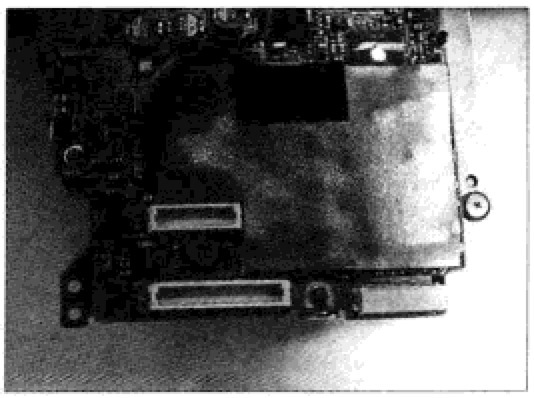


图4 机芯主板上的插座

现，引起成像器件CCD插头与主板插座松动的另一个原因就是摄像人员强行取带操作造成。

该机还有一个设计缺陷就是出带按键设计不良，使用寿命较短，极易造成磁带出仓不顺畅或磁带被卡在带仓中无法取出。出现此类问题时许多摄像人员不是选择送修设备而是采取非法自行取带，野蛮用力向外拉扯带仓造成机芯向外移位，带动固定在机芯上的主板也随之发生位移，从而使插在主板插座上的CCD组件排线插头被拉动松脱而产生接触不良，造成拍摄画面偏色故障。

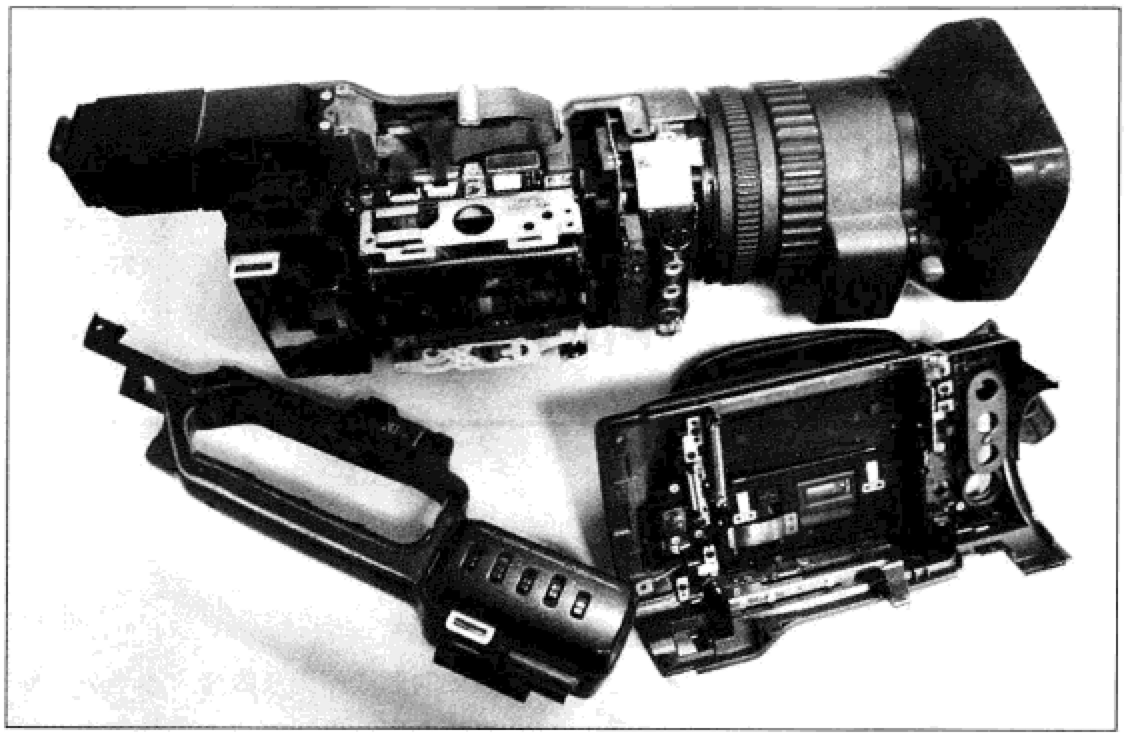


图5 拆下的手柄、右侧盖及主机

故障排除的方法

对于上述故障，在找到原因后排除起来就相对简单多了，那就是将插头重新插好连接可靠即可，具体方法是：第一步，拆盖。先拆去手柄上的6颗固定螺钉，拔掉手柄排线，然后再拆去机器右侧盖上的7颗螺钉及手柄下方固定右侧盖的1颗螺钉，用手拉住右侧盖手带，水平方向向外轻拉即可取下右侧盖。第二步，拆机芯及主板（主板固定在机芯上）。小心拔掉机芯上的5个排线（注意机芯主板左上角的插座有锁扣），拆掉固定机芯及主板的5颗螺丝，再拆去固定机芯的铁皮固件上方的黑色塑料限位支撑片，掰起铁皮固件，拨开机器上方的排线，就可以看到靠近主板上方的插头、插座，即为成像器件CCD组件的插头、插座。观察该插头及插座连接，有故障时可能会发现插头一边未完全插好或插头一侧有些翘起。第三步，重插插头。小心将机芯与机壳底座掰开一条缝，用食指或平头改锥将未完全插接到位的插头挤压到位，使其连接可靠，一般只要插头与插座连接良好即可排除故障。图5所示的是拆开的机器手柄、右侧盖及主机，图6所示的是机芯主板与其底座间狭小的空间，图7所示的是拆下的黑色塑料限位支撑片，图8所示的是固定机芯的铁皮固件。需要提醒大家，操作时一定要非常小心，注意各种排线的安装拆卸方法，不能损坏排线。安装时要确保各种插头连接到位，接触可靠。

为了彻底消除故障隐患，应可使用专用胶带（粘性要好，粘合力要强，不易老化的特种胶带）将连接好的插头和插座与主板粘接固定结实，这样就可防止插头再次松脱，解决后顾之忧。请注意，这一点非常重要，这也是该机维修的关键所在，否则机器修好后故障还会再次复发。而且由于多次维修，插头的反复插拔及自身松动后的不断磨损，故障会越来越频繁，越来越严重，甚至造成插头及插座报废。

看了此篇文章，您应该会对索尼DSR-150P、190P摄录机偏色故障的形成原因及排除改进办法有所理解，对于此类故障只要你懂一点电工知识，具有一定的动手能力，同时胆大心细，你完全可以自己动手排除故障，而不必将机器送到专业的维修站花费高昂的维修费用。

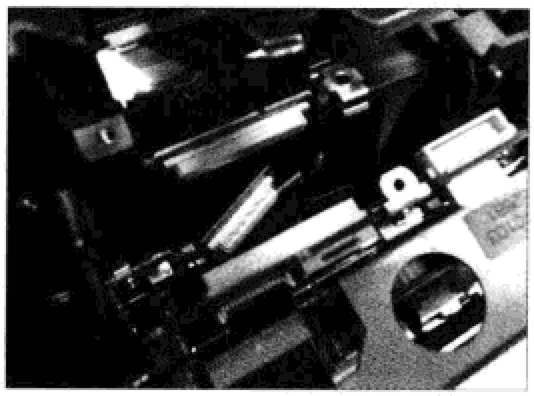


图6 机芯主板与其底座间狭小的空间

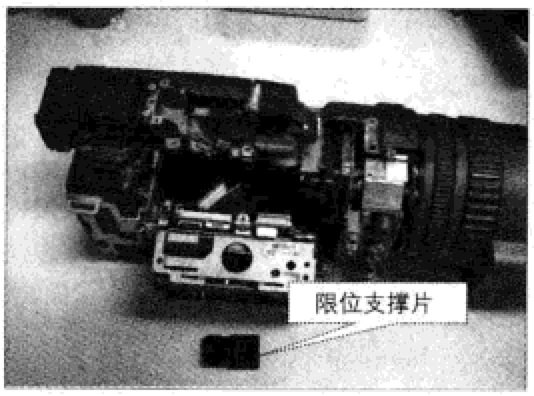


图7 拆下的黑色塑料限位支撑片

图8 固定机芯的铁皮固件

自己动手维修多功能电开水器

◎王绍华

腾飞牌FD-09型多功能电开水器是一款性价比不错的电开水器，能对水进行磁化。由于有沸腾式注水处理，故彻底杜绝了普通电开水器有生水混入开水中的现象。除此之外，还具有自动注水、保温和消毒功能，因此深受用户欢迎，在社会上有相当的拥有量。下面具体介绍该型电开水器的工作原理和常见故障的检修方法。

工作原理

图1所示的是该型电开水器水流程示意图，图2所示的是电路原理图。当插上电源插头，按下电源开关SB1（自锁式）后，黄色电源指示灯L1将点亮。同时，市电经装在煮水箱底部的（双刀双掷互锁式）微动压力开关的一组SA1常闭触点、R3，使进水电磁阀YV1得电→进水阀门打开（绿色进水指示灯L3点亮）→自来水进入冷水箱→进入磁水器，水被磁化处理→进入煮水箱。当水位达到设计容量时，SA1常闭触点断开（倒向图2所示的右侧）→进水电磁阀YV1失电→进水阀门关闭（绿色进水指示灯L3熄灭）→进水停止。与此同时，微动压力开关的另一组SA2常闭触点断开（倒向图2所示的左侧）→继电器J1得电→常开触点JK1吸合→装在煮水箱底部的电热管H1得电工作，直至水沸腾→在蒸汽压力作用下，煮水箱的进水阀片关闭→煮水箱中的开水被压进储水箱→再由储水箱将水分配给开水箱和凉开水箱。在煮水箱底部还安装有防干烧保护温控器ST1,当温度达到105℃时，它将切断煮水电热管供电，以保安全。由于开水箱容积较小，故开水箱中水先被注满（凉开水箱中水后被注满）。在开水箱底部安装有保温加热器H3，在供电回路中串有二极管VD和温控器ST3（温控器ST3安装在开水箱底部）。当开水箱水温低于90℃时，ST3会导通，市电经二极管VD半波整流后的脉动直流电压会加至保温加热器H3上，使开水箱中水升温。当水温升至95 ℃以上时，ST3断路，H3停止加热。因此，开水箱中水温将保持在90℃～95℃范围之内。

叙述至此，有读者可能会产生疑惑：ST3在常温下是闭合的，那一按下电源开关SB1，H3就会通电，若开水箱中无水怎么办？请继续往下看。当有人打开水龙头饮用开水时，开水箱中水位会下降，当降至1/2容积以下时，装在其底部的微动压力开关SA3常闭触点复位（倒向图2所示的右侧）。将产生两个效果：一是接通继电器J1工作线圈电源→JK1常开触点重新闭合→煮水器中电热管H1重新通电加热→产生蒸汽压力→以便开水进入储水箱。二是断开开水箱进水阀（常开式）YV2工作线圈电源，使之失电后进水阀门打开，让储水箱中开水进入开水箱……如此循环。因此开水箱中不会无水（第一次使用要先注开水）。当煮水箱中水位降至1/2容积时，安装在煮水箱底部的微动压力开关SA1的常闭触点复位（倒向图2所示的左侧），使进水电磁阀YV1得电→进水阀门重新打开（绿色进水指示灯L3再次点亮）→自来水进入冷水箱→进入磁水器→进入煮水箱。与此同时，煮水箱底部的微动压力开关SA2的常闭触点复位（倒向图2所示的右侧）→继电器J1失电→常开触点JK1断开→装在煮水箱底部的电热管H1停止工作→直至水位达到设计容量后又重复上述过程。因此，煮水箱中也不会无水。值得一提的是：凉开水箱进水口与储水箱底部相通，因此只要储水箱中有水，凉开水箱中就会储满水。当有人打开

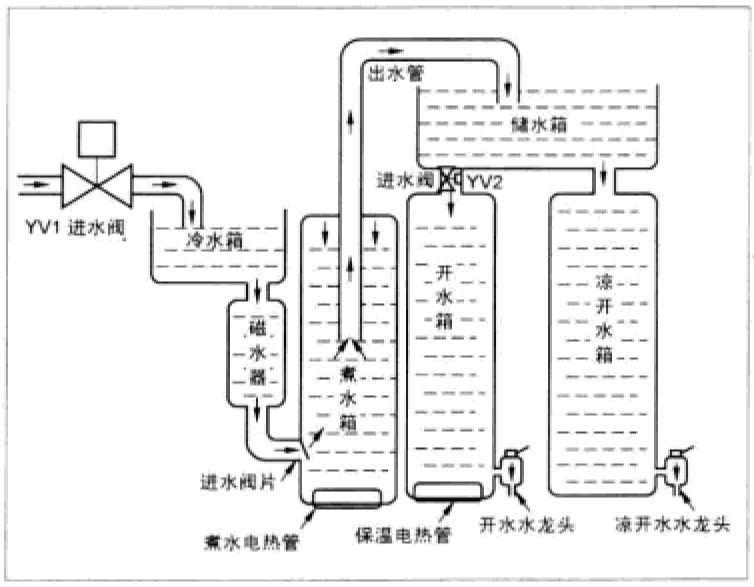


图1

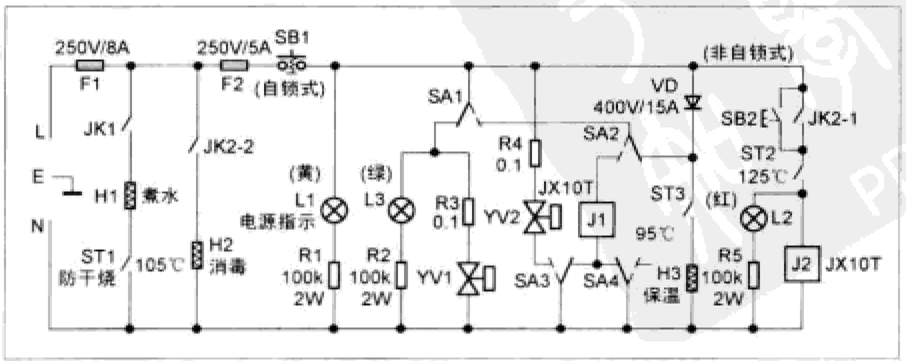


图2

凉开水箱水龙头而饮水时，箱中水位会下降，当降至1/5容积（实际储水箱中早已无水）时，装在凉开水箱底部的微动压力开关SA4常闭触点复位（倒向图2所示的左侧）。此时由于煮水箱中水位高于1/2容积（不然会自动补水），SA1常闭触点断开（倒向图2所示的右侧）→SA2常闭触点断开（倒向图2所示的左侧）→继电器J1得电→常开触点JK1吸合→装在煮水箱底部的电热管H1得电工作，产生蒸汽压力→为储水箱补水→给凉开水箱补水。当凉开水箱水被加满，直到水位达到储水箱容积的3/5时，SA4的常闭触点才断开（倒向图2所示的右侧）→继电器J1失电→常开触点JK1断开→煮水箱底部的电热管H1停止工作→补水过程不一会结束。从上述不难看出，当任一饮水箱中水量下降至设计标准后，电开水箱均会自动进行补水，水位升至设定水位后，又会自动停止补水……如此不断循环。

若要对茶具室进行消毒，可按下消毒按钮开关SB2（非自锁式），此时，红色消毒指示灯L2点亮，表示进入消毒工作状态。由图可知，此时220V交流电经SB2、消毒温控器ST2（125℃）加至继电器J2工作线圈上，继电器常开触点JK2-1、JK2-2闭合。其中JK2-1代替消毒按钮开关SB2，维持J2常开触点继续吸合，实现自锁。JK2-2则使石英电热管H2通电发热。当茶具室温度升至125℃时，ST2动作→切断消毒控制电路工作电源→继电器J2失电→常开触点JK2-1、JK2-2复位→消毒电热管H2停止加热。同时红色消毒指示灯也熄灭，表示完成了一次消毒工作。

检修思路

该型电开水箱常见故障有：

1. 冷水箱不能进水，绿色进水指示灯L3也不亮。

在有自来水的情况下，这是进水电磁阀门未打开所致。如果黄色电源指示灯L1已点亮，保险电阻R3正常，则故障点通常是微动压力开关SA1常闭触点不通。其原因是SA1触点电流容量不足，时间一长容易使触点烧蚀而不通。更换微动压力开关即可排除故障。如果黄色电源指示灯L1不亮，则是电源保险管或按钮开关SB1有问题，可分别检查确认。

2. 开水箱水位下降至1/3容积以下仍不能自动补水

该故障应先观察储水箱中是否有水。若有水，肯定是开水箱进水电磁阀（常开式）仍在通电，使进水阀门不能打开。说明微动压力开关SA3常闭触点闭合后不能断开。在这种情况下，开水箱进水电磁阀工作 线圈两端应有220V市电电压，且煮水箱中的煮水电热管是不能加热的（若加热，可见不断有气泡从电热管上冒出，水沸腾后有大量气泡和水蒸汽产生）。更换SA3即可排除故障。若储水箱中无水，则是微动压力开关SA1、SA2、SA4之中有损坏（详见下面叙述）。

3. 凉开水箱水用完了仍不能自动补水

凉开水箱水用完了，实际是储水箱中水用完了。由上述原理可知，在这种情况下，凉水箱底部的微动压力开关SA4常闭触点应复位。继电器J1应得电，煮水电热管H1应通电加热对储水箱补水。因此，该故障应先观察煮水电热管H1能否加热（即水是否能沸腾）。若不能加热，再测继电器J1两端是否有220V电压，若没有，一定是微动压力开关SA1、SA2、SA4之中有损坏。如果有220V电压，一定是继电器J1或电热管损坏，应进一步检查排除。

4. 煮水箱中水已注满，但煮水电热管不能煮水。

煮水箱中水已注满，但煮水电热管不能加热，可能原因是继电器J1常开触点未闭合。故应先检查J1工作线圈两端是否有220V电压，若有，可基本确定是J1损坏（比如工作绕组断路、常开触点断路）或煮水电热管本身开路。若J1工作线圈两端没有220V电压，则是微动压力开关SA1、SA2、SA3之中有损坏，应分别检查确认。

5. 储水箱水已基本注满，但煮水加热器仍在继续加热。

储水箱水已基本注满，说明开水箱和凉开水箱中水位早已达到要求。微动压力开关SA3、SA4的常闭触点均应断开，以切断继电器J1工作电源，使煮水加热器停止加热。现煮水加热器仍在继续加热，在排除J1常开触点粘连的前提下，则是微动压力开关SA1、SA2、SA3、SA4之中有损坏，应分别检查确认。

6. 开水箱中水不能保温。

由图2可知，保温加热器通、断电是靠ST3来控制的。因此，保温加热器H3不能加热，通常是ST3常闭触点开路。若查得ST3正常，则是整流二极管VD或保温加热器H3本身出现开路性损坏，可检查排除。

7. 不能消毒

按下消毒开关SB2后，红色消毒指示灯L2不亮，也听不到消毒继电器J2常开触点的吸合声，说明J2未得电。该现象表明温控器ST2或按钮开关SB2出现开路性损坏，应分别检查确认。若按下SB2后红色消毒指示灯L2能点亮，但听不到消毒继电器J2常开触点的吸合声，则说明J2工作线圈开路。若能听到消毒继电器J2常开触点的吸合声，则不是JK2-2常开触点烧蚀不能导通，就是消毒电热管H2本身开路。由于元件不多，确认不难。从维修实践看，温控器ST2常闭触点由于高温，使复位弹片因失去弹性而不能复位比较常见，更换后故障即可排除。

故障检修实例

例1 冷水箱不能进水，但绿色进水指示灯能点亮。

绿色进水指示灯能点亮，表明微动压力开关SA1正常。问题应在进水电磁阀YV1或限流电阻R4损坏。接下来测冷水箱进水电磁阀YV1进线两端没有220V交流电压，显然是限流电阻R4开路。经查，果然如此。用0.1Ω电阻更换后开机，故障排除。

例2 开水箱中水基本用完仍不能补水，但储水箱中有水。

显然，这是开水箱进水电磁阀YV2阀门关闭所致。由于YV2是常开式（即工作绕组不通电时阀门是打开的），因此，故障不是YV2工作绕组通了电使阀门关闭，就是进水口堵塞。于是，先断开电磁阀工作绕组一端引线，发现水立即流入开水箱。看来故障的确是电磁阀误通电所致。由上述分析得知，这是微动压力开关SA3常开触点不能断开（触点粘连）所致。经更换SA3后试机，故障消失。

例3 储水箱水已基本注满，但煮水电热管仍在加热。

由电路原理图可知，这是微动压力开关SA3或SA4常闭触点未断开所致。先打开水箱水龙头，发现储水箱中水不能流入开水箱，显然，SA3是正常的。故障应是SA4损坏。更换SA4后开机，故障不再出现。

例4 开水箱中水不能保温。

由于开水箱中水温是由温控器ST1来控制的，故怀疑它损坏。试用同规格（95℃、250V/5A）温控器更换后试机，机器恢复正常。

家用电子血压计的检修

◎张伟军　阮芳

家用电子血压计操作简单、显示直观、检测迅速，给中老年和高血压患者带来了很大的方便，现已成为家庭常备的电子保健产品，社会拥有量很大。但此类产品属于复合类电子产品，维修的网点和从业人员少，维修费用高。笔者近年维修过多台电子血压计，从结构上看，主要有臂式和腕式二种（见图1），其内部均采用模块化设计，大部分常见故障只要稍具电子技术基础，即可维修。

图1

图2

工作原理

1905年俄国医生柯诺特柯夫发现，人类完全受压的动脉是不会发出任何声响的,只有当动脉不完全受阻时才会出现声音。因此，可用这种声音来确定人体的血压。听诊法就是利用柯氏音测压原理来测量血压的。根据这一原理制作的汞柱式血压计（见图2），它是由汞柱计、臂带、手压充气球另加听诊器组成。还有一种表式血压计（见图3），是通过内部的压力管带动指针来代替汞柱显示脉压，测量原理同汞柱式是一样的。

电子血压计的测量原理是：在增加或减少臂（腕）带静压的过程中,提取、放大脉动压并描绘其包络线,然后对包络线的几何形态加以分析。包络线最高点所对应的静压即为平均压。由平均压通过比值法或拐点法估算舒张压和收缩压。

图3

电子血压计一般由加压气泵（气球）、排气阀、气压臂（腕）带、血压传感器、电子测量处理和液晶显示六大部分组成（见图4、图5）。家用电子血压计至今已经发展了三代。第一、第二代采用减压测量技术（MWD）。测量时，先用电动或手动加压气泵快速加压到某个数值，再通过机械式或电子排气阀恒速排气，并在放气的过程中进行血压测量。第一代和第二代的主要区别是在排气阀上。第一代使用了两个排气阀，一个慢速定速机械排气阀，另一个电子快速排气阀。第二代只采用了一个电子控制排气阀，同时

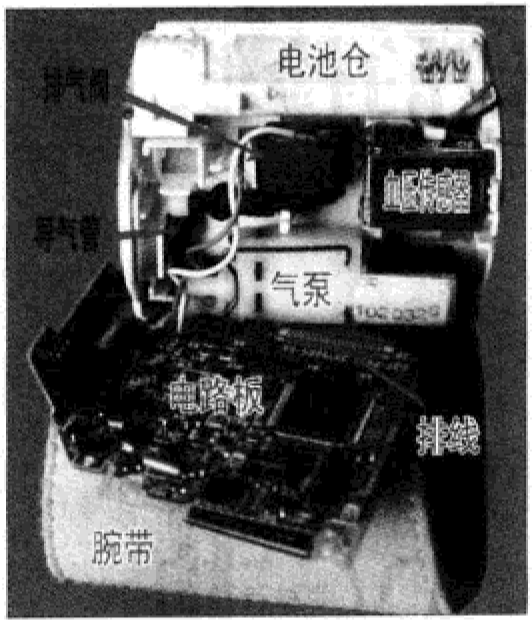


图4

完成慢速定速排气和测量结束时的快速排气。由于第一代采用的机械式排气阀稳定性差，测量误差大，现已停产。第三代电子血压计采用高精度的加压同步测量技术（MWI）和一个电子快速排气阀。测量时，伺服加压气泵匀速加压，在加压过程中通过MWI精确测出舒张压和收缩压后电子排气阀迅速排气，使得测量稳定度和精度都比前两代高。此外，电子血压计还具有测量脉搏、心率分析、多组参数记忆、显示日历时间等附属功能。20世纪80年代，日本曾开发出指套式电子血压计，但因适用人群范围小，没多久就退出了市场。

故障检修

1. 加不上电

电子血压计一般采用电池供电，加不上电后，首先检查电池电量，如果电量不足应更换新电池或充电。接下来检查电源引线有无接触不良或脱焊，检查电池仓弹簧压片和外接电源插座内的弹片有无锈触和弹力不足。有锈触，就用砂纸和小刀刮干净，弹力不足，则适当拉伸弹簧和压片，增加弹力。

2. 启动不了

检查启动开关的接触情况（见图5）。如果接触不良，可用99%的酒精清洗或更换开关。检测气泵电机的供电情况。如果加压时电机没有工作电压，应检查电机引线和插座有无脱落或接触不良。排除后仍无电压，说明电路板电路损坏，当电机有电压而气泵不工作时，应拆开气泵（见图6），用手转动电机轴，看传动部分是否顺畅，有无机械卡点，有卡点，排除卡点使之顺畅，再根据电机上标示的电压用电池组加电，看电机是否转动，仍不转，说明电机损坏。

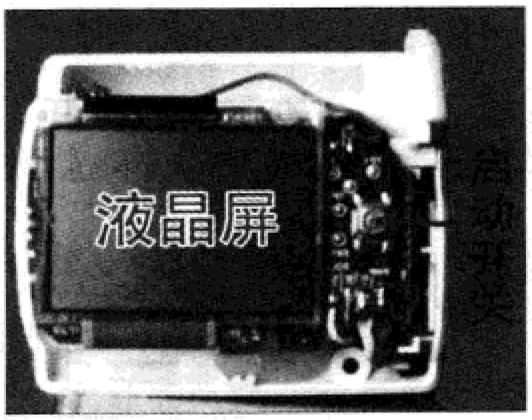


图5

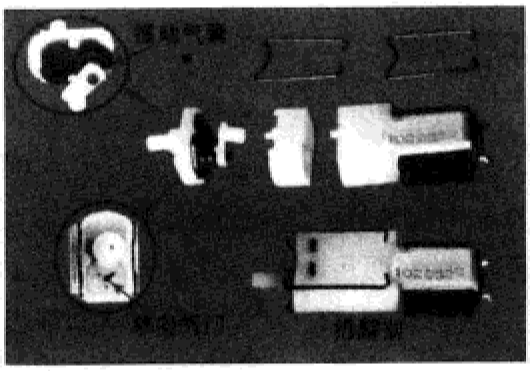


图6

3. 电子排气阀故障

第一代电子血压计用的慢速定速机械排气阀和第二代用的电子双速排气阀，结构复杂、精度要求高，一旦损坏，业余条件下很难修复。而第一、第三代血压计用的电子快速排气阀，其结构就是一种简单

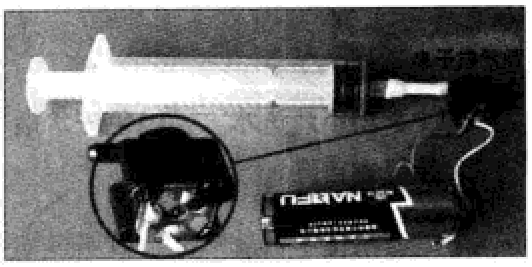


图7

的电磁阀（见图7）。当气泵加压时，电磁阀加电闭合使臂（腕）带气囊充气，测量结束后，电磁阀停止加电，衔铁释放，使气囊快速排气。当气泵充气时出现排气阀漏气的故障后，应去除电源（电池），焊下排气阀电路引线，用万用表电阻挡测量电磁阀线圈是否开路。常见的是线圈末端引线脱焊或霉断开路，确认后，可拆开排气阀进行补焊或处理断头重绕线圈，线圈差几圈不会影响电磁阀的性能。如果线圈正常，排气阀仍然漏气，应清除内部的杂质，使衔铁灵活顺畅、胶塞清洁密封。组装排气阀时，要注意让密封胶圈平整不漏气。修复后的排气阀，可用一次性注射器通过一段胶管插到进气口上，再将一节或二节电池接到正、负极引线上，当电磁阀吸合后，用注射器向排气阀打气检查密封情况（见图7），确认正常后，将排气阀装回到血压计中。

4. 不显示或显示缺划

此类故障大部分是由液晶板排线引起的。先检查排线和插座的连接是否良好，反复接插几次。如果排线头和插座有氧化现象，可用酒精擦拭。对于排线中间断线的部分，可用细漆包线对应焊到液晶电路板和主板上。有些排线采用碳膜排线直接粘接在液晶和电路板上，无法焊接跳线，可用刀片刮开断线两端的保护膜，用一根细铜丝连接到断线两端的碳膜线上，再用2B以上的铅笔涂抹，最后用透明胶带粘好。

5. 电路板故障

电子血压计采用3~9V的低压直流供电，电路器件损坏的概率很低。电路板出现的故障，绝大多数是外部和人为因素造成的。最常见的是用户长期不用、不换血压计中的电池，使电池漏液后侵蚀电路板，造成电路故障。对于这种情况，应拆下电路板，用99%的酒精溶液浸泡20~30分钟，再用毛刷和棉球清洗漏液和腐蚀物。腐蚀断的印制板线路和器件引脚，可用跳线焊接。用此方法，可修复中度以下的漏液腐蚀故障。由于电子血压计均采用微型贴片器件，电路板元件焊接密度高又无电路图，一旦腐蚀严重，造成的损坏是很难修复的，只能与厂家联系购买了。

6. 加压时漏气

首先检查血压计外部胶管与臂带或加压气球的连接处有无松动和漏气。再检查臂（腕）带气囊是否漏气，如果发现有漏气点并且比较小，可用704等柔性胶堵漏。在确认不是外部漏气后，拆开血压计外壳，观察内部导气胶管与气泵、加压进气口、电子排气阀之间的连接是否良好。检查血压传感器是否松动。有很多漏气故障就是因这些接口脱离或松动造成的，发现有这种情况，重新插好胶管和传感器，就可恢复正常。

7. 气泵故障

如果内、外气路连接和电子排气阀均正常，血压计启动后仍然不充气或充气不足，气泵损坏的可能性就比较大了。先测量一下启动后气泵电机有无供电电压，如果没有电压，说明电路板电路故障，更换电路板。如果有电压，故障依旧，则从血压计内分离出气泵，拆开外壳，用手转动电机轴，看传动部分是否顺畅，有无机械卡点。检查单向气门是否堵塞。用放大镜检查振动气囊有无破损。根据笔者经验，绝大部分气泵故障是由于振动气囊破损造成的（见图6），这是由于气泵工作时，气囊每分钟振动上千次，使用时间长了，橡胶老化，造成气囊破损。气囊破损后是无法修复的，只能更换气泵。在排除了气泵机械故障后，可根据气泵电机上标注的电压或血压计工作电压，用相应的电池组给电机加电，如果电机不转、说明电机损坏，如果电机转得不顺畅，可将电机放入99%的酒精溶液中，用电池正、反向加电旋转清洗电机，直至顺畅无卡点为止。

8. 气泵的替换

电子血压计用的微型气泵型号各异，损坏率高，维修困难，超过保修期后，厂家一般不单独出售，在市场上也很难买到相同的型号。因此，当气泵损坏又买不到原型号时，可采用替换气泵。判断气泵能否替换的二项重要技术指标是工作电压和流量值LPM（升/分钟）。笔者拆解了不同型号的电子血压计发现，虽然所用气泵的型号各异，外形结构尺寸也不一样，但工作电压只有3V、6V、9V三种，同样电压、体积差不多的气泵其流量值LPM差别不大，完全可以替换使用。因此，当确认气泵损坏后，可从电子市场和网上购买相同工作电压的气泵，当然，有同型号的最好。替换时应尽量将气泵安装在原位置，如果原位置装不下，可在内部其他位置放置，然后用一节笔芯和一段胶管或一次性输液管，将气泵与原来的导气管连接在一起并用热熔胶固定好，再焊上气泵导线就可以了。但是，外购的气泵在体积和结构上往往与原气泵差别很大，很难安装到血压计内部，尤其腕式血压计，只能安装在外部。现以OmRon HEM-630腕式电子血压计为例说明改装方法。该血压计采用3V电源，在确认气泵损坏后，笔者从广东东莞花12元网购了一个3V/1.2LPM微型气泵（见图8），由于体积比原气泵大，只能安装在血压计外部。替换时先在外壳两侧各开一个孔，将加长的气泵电机引线和一段自行车气门胶管作为外部胶管，分别从两个孔穿出并焊接、安装到替换气泵上（注意电机正、负极）；血压计内部用一节笔芯将外部胶管与原来的导气管连在一起（见图9）。加电试一下测量效果。如果不能正常工作，应调整气泵在腕带上的位置和外部胶管的长度，胶管的长度应尽量短，以不出现弯折为佳（见图10）。测试正常后，用热熔胶固定好腕带上的气泵和内部胶管，装上外壳就可以使用了。

图8

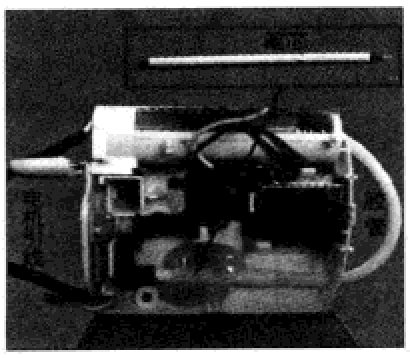


图9

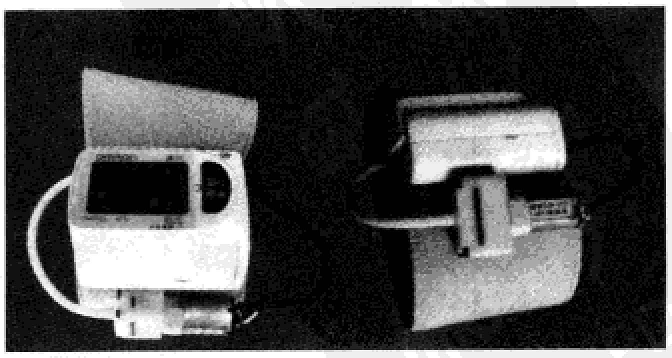


图10

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 有一把德国BRAUN（博朗）3615型充电式电动剃须刀不能使用，将充电插头插入市电插座指示灯也不亮，无法充电。拆卸检查，发现一个标注为“253”的灰绿色电阻器的阻值为无穷大，不知该电阻的正常阻值是25kΩ吗？能否用0.5~1W的碳膜电阻代替？ （安徽　钱为民）

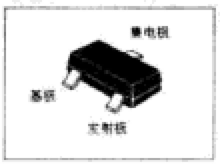
A 这个外观很像电阻的元件其实并非电阻，而是一种电阻式微型保险丝,现在已较多应用于节能灯、电子镇流器、充电器、电话机等电子电器产品中。其标注的“253”代表为253 系列电阻式微型轴向引线式保险丝管，与电阻值无关。该保险丝管的电阻应为十几到几十欧，实测阻值无穷大，表明已被烧坏，只要换上同型号或相似规格的电阻保险丝管即可。注意，引起该保险丝管烧坏的原因很可能是整流电路发生故障，因此在换保险丝管前必须仔细检查整流管和电容等是否损坏，如果发现坏的必须先换掉。 **（王德沅）**

Q 一把德国设计BRAUN 5-629型电动剃须刀，开机后刀头不动，也无法充电，充电指示灯不亮。经查发现：充电电池两端电压/电阻为零，市电整流后的300V电压正常，然而奇怪的是指示灯却不亮，LED灯是好的。再查其他晶体管、二极管、电阻、电容和振荡变压器等都没发现什么问题，至此感到束手无策，不知故障究竟在何处？ （江苏　周宇平）

A 许多剃须刀的指示灯接在市电输入或整流输出端，只要有市电并整流后的电压正常，指示灯就会点亮；而该剃须刀指示灯电路是接在充电电路输出一侧的，只有充电电路的输出正常才会发光，所以指示灯不亮说明充电电路输出不正常，很可能是振荡电路停振所致。由于充电电池两端电阻为零，说明电池损坏的可能性很大，只要断开电池一端，再插上电源，如果指示灯发光，即可确认故障。该机采用N600AA型1.2V/600mAh充电电池，可用相同或相似规格的充电电池代换。 **（王德沅）**

Q **最近在维修一副无线耳机时，发现其电路板上有个贴片三极管，其封装两面结合的缝隙处有裂开的现象，怀疑该管损坏，但是不知其型号，后来查看了说明资料，才知道是 8550 晶体管，不知如何识别其引脚功能，封装裂开是什么原因，据此能判断其损坏吗？（辽宁　王海勇）**

A 8550是常用的小功率PNP型硅晶体三极管，常与NPN三极管8050组成配对电路。贴片式封装的8550引脚功能如附图所示。至于封装开裂，主要原因有两个：一是管子封装质量差，经过焊装或震动等后，造成开裂现象，二是工作时功耗太大、温度过高所致。如果管子温升不高，通常就是前者所致。开裂的管子不一定损坏（可用万用表测判），但却容易损坏，而且可能引起工作不稳定，所以最好及时换掉。 **（王德沅）**



Q 我有一片4G的SD卡，主要用于手机外部存储器，使用1年多一直正常，最近发现插入手机时却提示“卡未格式化”，直接格式化，但是提示“格式化失败”，再经过读卡器插入电脑的USB插口，居然电脑也不能格式化，这是否说明储存卡已坏，能否自行修复？ （黑龙江　朱伟翔）

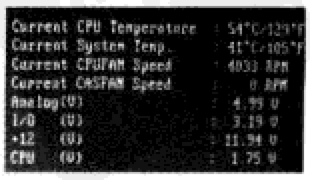
A 这种故障比较常见，一般而言大约有7成以上的SD卡可通过低级格式化来救活。操作如下：首先到网上搜索下载一款合适的低格化软件，如LLFTOOL等，最好是绿色免费版，以便安装和使用。下载好软件，将它释放或安装好，然后把SD卡插在手机中，将手机与电脑USB连接上，再运行低格程序，如果能在低格软件界面中看到SD卡显示，那就说明能修复的可能性很大，最后选中SD卡，进行低格化，完后，就可使用了。 **（王德沅）**

Q 我家电脑的光盘驱动器，使用1年多后发生读盘困难或不读盘的故障。拆机检修，用镜头纸擦净透镜，后来又调高激光功率，但是都没效果，不知何故？另外，如何在维修实践中妥善调节激光头功率，我们觉得较难把握，通常只是凭感觉来调节，希望贵刊介绍较好的实用方法。 （江西 陈俊　上海 刘复延）

A 如果没有被不当维修过，这种故障大都是光驱的激光头衰老所致，对于初次出现此种故障的光驱，一般都可用提高激光头供电电流的方法来解决，但是只凭感觉来调节肯定是不妥的，调节过头，会明显缩短其使用寿命，调节太小则无效，如果反复调试，不但麻烦费时，而且还可能弄坏电位器等元器件。实际上，对于首次因老化而读盘困难或不读盘的激光头，一般可调节激光头电位器的阻值为原来的75%左右即可，如原阻值为2kΩ,那么调节为1.5kΩ左右就行了。实践表明，这种方法通常可用三四次，从而大大延长光驱的使用寿命。 **（王德沅）**

Q 我们在维修电脑的实践中，常需及时了解电路的主要工作电压正常与否，例如，有一次在一台电脑上反复安装操作系统不成功，许多能想到的因素都想过了，后来怀疑光驱等的电源电压有问题，但是拆机检查很麻烦，此时就很想有一种简便的方法来了解，不知有无这样的方法或软件？ （云南　余潇雄）

A 一般不需软件，只要进入电脑的BIOS设置界面就能了解主要工作电压的情况。以Award Bios为例，电脑开机后，出现硬盘等检测画面时按下“Del”键（少数电脑是F1键），就会进入Bios设置画面，然后选择菜单项：CHIPSET FEATURES SETUP（芯片组特性设定），就出现如附图所示的5V/12V和CPU内核电压等检测数据。 **（王德沅）**



松下NN-5243型微波炉的检修

◎王绍华

松下NN-5243型机械式微波炉，由于结构简单、性能稳定、价格适中、维修容易等优点，在社会上的拥有量比较大，笔者已维修数台这种型号的微波炉。本文介绍该型微波炉的工作原理与常见故障的检修方法，供大家参考（其他型号的微波炉的维修也可借鉴）。

工作原理

附图所示的是该型微波炉电原理图，其中FU为保险管，S1是安装在炉膛内壁的125℃温控器，以确保炉膛内温度不超过125℃；S2是安装在磁控管上的145℃温控器，目的是当磁控管温度升高达145℃时，能切断电源，避免磁控管过热损坏；S3是定时开关；S4为主联锁开关；S5为副联锁开关；S6为联锁监控开关；S7为微波炉功率调节开关（该型微波炉的功率调节，不是调节加至高压变压器初级绕组电压，而是控制流过高压变压器电流的通/断时间比，也就是控制磁控管工作/停止时间比，即平均功率大小来实现的）。RL为炉膛照明灯、M1是定时器电机、M2是风扇电机、M3是转盘电机。T是高压变压器，其中L1为初级市电输入绕组、L2为次级高压绕组、L3为磁控管灯丝绕组。C是高压电容、R为保护电阻、VD1为保护二极管、VD2为高压整流二极管、MT是磁控管。其工作过程是：接通电源，打开炉门，RL点亮，放入食物，关闭炉门S4、S5闭合、S6断开（RL熄灭），调节功率选择开关S7选择微波炉加热对应食物的功率（该型微波炉可在全功率1000W、800W、600W、500W、300W及200W共6种功率状态下工作）。再转动定时器时间选择旋钮，选定工作时间，S3闭合，微波炉开始工作。定时电机、风扇电机、转盘电机均开始运转。与此同时220V市电电压加至高压变压器初级，次级绕组L3感应出3.5V电压，供给磁控管灯丝。次级绕组L2感应出2050V电压，经高压整流二极管VD2和高压电容C组成的倍压整流电路后，获得近－4000V直流高压。此高压加至磁控管阴、阳极间，使磁控管发生谐振，产生频率为2450MHz的微波，然后经波导管送入炉膛，使食物分子产生高频振动，互相磨擦产生高热而被加热。在定时电机M1开始运转后，微波炉加热时间进入倒计时，在选定的加热时间到达后，定时开关S3发出一声复位铃响，S3断开，加热结束。用户打开炉门时，主、副联锁开关S4、S5断开，联锁监控开关S6闭合，照明灯RL点亮，用户可取出烹饪好的食物。

常见故障

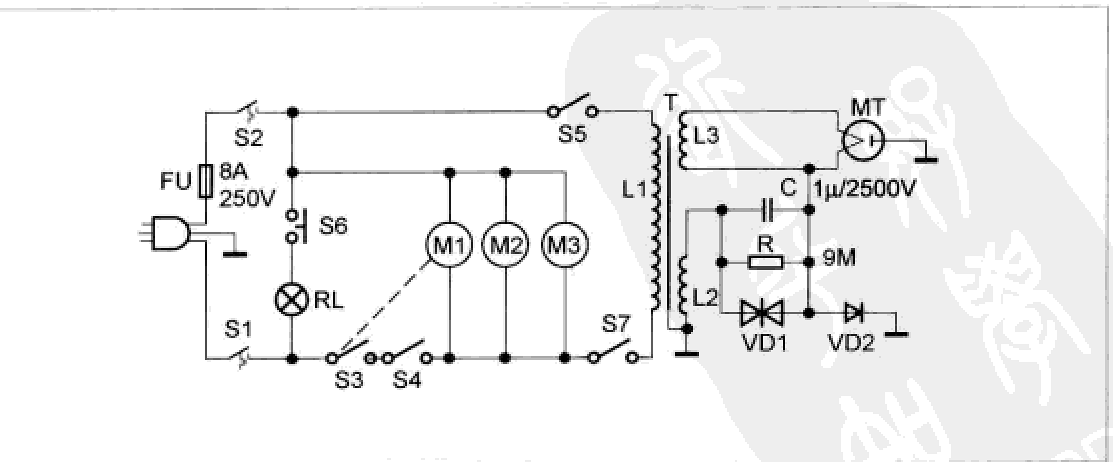
1. 接通电源，随即熔断保险管

这说明微波炉内电路有短路故障。微波炉电路以高压变压器为界，初级绕组及前面电路为控制部分，次级绕组及后面电路为高压部分。找出高压变压器与高压电容的接插件（微波炉多以接插件形式连接各部分电路元件），将插头拔出，然后通电，会有以下三种情况出现。

（1）换新的保险管后，不再烧保险管，风扇、转盘运转，打开炉门，照明灯能点亮。这说明高压变压器正常，控制部分也正常，故障应在高压输出部分。比如高压电容（1.0μF/2500V）击穿或严重漏电或高压二极管击穿，也有可能是磁控管灯丝与外壳（地）击穿（笔者发现两例）。这些均可通过用万用表R×10k挡来确诊，更换损坏元件故障即可排除。

（2）换新的保险管后，仍烧保险管。这说明高压变压器或电源控制电路损坏。此时可将高压变压器初级绕组的接插件拔出再通电，若保险管不再熔断，则说明高压变压器损坏。实践表明，高压变压器损坏通常是次级高压绕组短路，没有条件绕制者，只能换新的绕组。

（3）在上述断开高压变压器初级电源通电时，若保险管仍熔断，则说明门锁开关、功率选择开关、转盘电机、风扇电机、



松下NN-5243型微波炉电原理图

定时电机等内部绕组与外壳（地）或已击穿，可分别检查确认。

2. 未到设定工作时间，即停止加热

这表明微波炉内通风不畅，引起磁控管温度过高，使监测磁控管温度的温控器S2动作，其故障原因有：

炉内风道被脏物封堵，使空气不能对流。用刷子蘸上酒精清除即可。

风扇扇叶变形后被卡或被异物卡住而停转。这种情况打开机壳即可发现。

风扇电机定子线圈烧毁。这可通过检测绕组的直流电阻予以确认。正常情况下，启动绕组约为40Ω，工作绕组约为360Ω（风扇电机为三端引出，其中一端为公共端）。若测量发现阻值异常，则说明电机已损坏，通常只能更新。

温控器S2损坏，使温度还未达到就已动作。当检查发现以上三项均正常时，应更换温控开关试之。

3. 不烧保险管，炉灯也能点亮，但不能加热

该故障的可能原因有3个。

（1）磁控管严重衰老或失效或磁控管灯丝断路。正常情况下，灯丝直流电阻小于1Ω. 若阻值明显变大，则说明磁控管严重衰老。若阻值无穷大，则说明磁控管灯丝断路，可用同型号或2M210、2M214-19F等型号的磁控管更换。

（2）磁控管无工作高压。这可能是高压变压器的高压绕组开路，或高压整流二极管VD2开路，或高压电容完全失容。顺便指出，变压器高压绕组直流电阻为100Ω、高压整流二极管正向电阻约为120kΩ, 反向电阻无穷大。若测得阻值异常，应予更换。若购不到同型号二极管，可用2只5kV/10mA硅堆串联代替，但要注意绝缘。至于高压电容，若用指针式万用表R×10k挡检查，其指针有1/5满刻度偏转，然后返回无穷大位置属正常。若指针不动，说明电容已完全失容。

（3）功率选择开关严重接触不良，造成控制电路不能将电源送至高压变压器，从而使磁控管无法工作。通常只能更换新品。

4. 能加热，但加热效果显著降低

本故障原因有2个。

（1）磁控管衰老。一般情况下，磁控管工作寿命为2000小时，超过这个时间必须换新。

（2）高压部分电容失容或漏电。高压电容部分失容或漏电将造成加至磁控管的直流高压降低，致使加热效果变差，可通过检查电容确认。

5. 能加热，但转盘不转

在排除转盘未放入导轨的情况下，通常是转盘电机电源接插件氧化而引起电机电源不通所致。只要拔下电源接插件，将插座适当夹扁然后用力重新插入即可。若确认不是接插件原因，则可能是转盘电机损坏，也可通过检测转盘电机绕组直流电阻来判断，正常约为10kΩ。若阻值异常，表明检测转盘电机已损坏，通常只能换新的。

6. 通电后一直加热，设定时间到后不能自动停机。

该故障主要是定时电机损坏（或定时电机电源未通）或定时开关发生粘连，致使不能断开电源所致。可这样甄别：若在加热过程中，定时调节旋钮能缓慢沿逆时针方向返回，且在回到时间“0”刻度处时能听到一声复位铃响，则说明定时电机正常，故障极可能是定时开关发生粘连。若在加热过程中加热时间调节旋钮不能缓慢沿逆时针方向返回，则是定时电机损坏或电机电源未通，可检查确认。顺便指出定时电机绕组直流电阻约为5kΩ，若检测发现异常，一般只能更换。若发现是定时开关触点发生粘连，作为应急可通过研磨触点来修复。若长远考虑，还是换新为好。

检修实例

例1 不能加热，但定时电机、风扇电机、转盘电机均运转正常。

经查，高压变压器初、次级电压正常，测磁控管灯丝电阻只有0.5Ω，表明磁控管并未衰老。测高压电容也正常，但测高压整流二极管VD2，发现已开路。用两只5kV/10mA硅堆串联替换VD2后试机，故障排除。

例2 不能加热，且保险管熔断。

该现象说明机内存在短路故障。经查，磁控管灯丝电压接入插头对外壳（地）已击穿。试用电钻将插头周围绝缘用的环氧树脂胶全部钻掉，然后用504胶重新封固。待胶固化后开机，加热恢复正常。

例3 加热几分钟就停机保护。

停机保护，通常是温控器S1或S2动作。经查，发现是风扇电机未转动（排气孔没有风吹出），致使炉膛内温度过高所致。用手拨动扇叶，发现有明显阻力，进一步观察，发现叶片与散热孔有油腻脏物在磨擦。再测风扇电机工作绕组电阻，还不足100Ω，显然，工作绕组已经烧毁。更换风扇电机后试机，故障排除。

例4 开机，炉膛里就打火冒烟。

这是炉膛内波导口云母片被油烟污染，导致绝缘电阻降低所致（这类故障碰到过多起）。将波导管口用无水酒精反复清洗，除去污迹，然后烘干。再将波导口云母片卸下，也用无水酒精反复清洗，除去污迹。待烘干后装上试机，故障不再出现。

台式计算机不开机故障巧判断

◎刘福胜

计算机开机故障，可归纳“按下电源开关无反应”和“按下开关，电源盒和机内各散热风扇运转，但显示屏无显示”这两种情形。后者又区分为“伴有报警音提示”和“只见风扇转却无提示音”。如此倍感茫然的黑屏状态（本文仅以机箱内部硬件故障叙述），该如何快速诊断并恢复其运行，这要从硬件之间关联谈起。

首先，了解一下计算机的启动过程：主机箱接通电源但没有开机之前，在24孔（以下含20孔）电源插头（见图1）中，只有“紫色线”即5VSB端子有5V电压输出，它也是电源盒中唯一不受电源开关控制的5V电源。在电网供电保证的前提下，将始终向主板开机执行电路（有集成在南桥中）和部分设备提供有限的电力，随时接收主板PW_ON（连接至机箱面板的开/关机按钮）插针低电平触发开机，亦可以完成键盘开机或网络远程唤醒。当按下开关按钮，主板上PW_ON插针中3.3V高电位一端瞬间接地，主板开机电路返给并锁定24孔电源插头中PS_ON（即“绿色线”）低电位，电源开始供电，此时，因电源各路电压还不稳定，为避免主板芯片组发生逻辑紊乱，电源内部电路先行自我检测，待测试通过，说明各路电压已经稳定，24孔电源插头中“灰色线”即PW_OK端子，便会给主板发送一个连续接近5V的电位信号，通知主板芯片组可以撤去复位（RESET）信号，启动BIOS自检程序，硬件信息将逐屏显示出来。当然，这个测试过程极为短暂，在100~500ms完成。如果电源本身发生故障或者供给超载，PW_OK信号不能有效的保持甚至消失，计算机将会始终处于复位或关闭状态，即使处理器等各散热风扇运转，但显示器不会被点亮。

对于使用和操作电脑的非专业人士，没有硬件基础，遭遇黑屏是不是只能束手无策、另请高明呢？其实不然，即便没有诊测卡和万用表等高效工具，只要能认清各硬件及简单拆装要领，并了解了上述计算机启动之过程，通过徒手摸排，最终也会缩小并圈定故障范围，令其浮出水面。下面通过实例讲解检修方法。

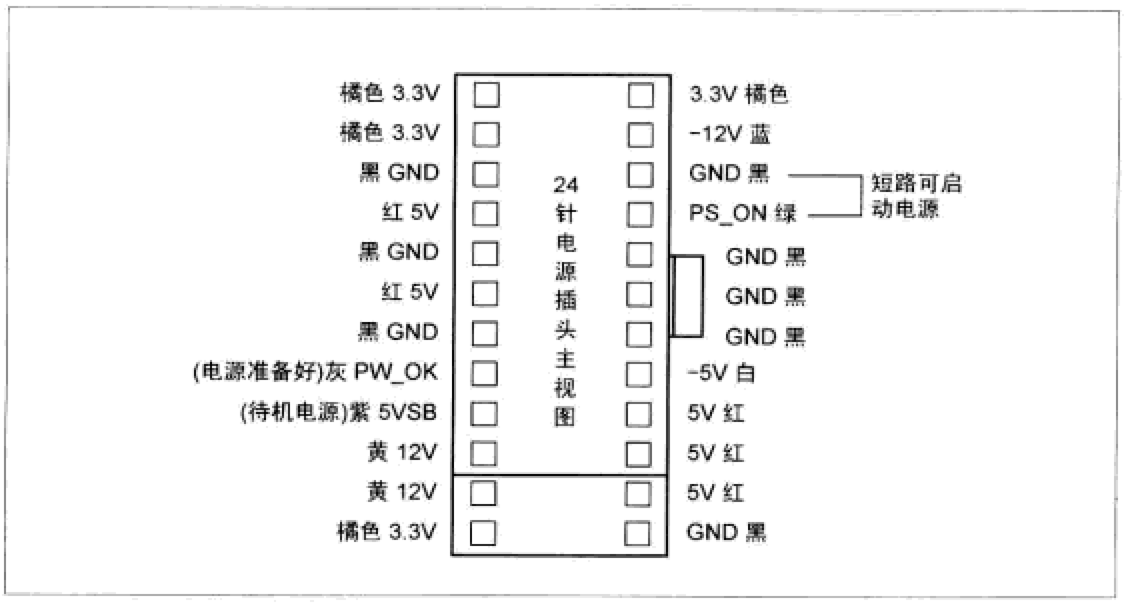


图1

1. 按下开机键，主机内部无任何反应

多年维修实践证明，若环境干燥清洁，开机按键所引发的故障概率极低。偶尔在老机箱中，还是能遇见按键年久，弹簧受阻内部粘连形成不稳定接触电阻、键帽变形与塑壳刮蹭、阻碍按键（含复位按键）自行弹起、主机会呈现开机片刻又突然关机再自行启动的这几类毛病。直接拔掉机箱连接主板上的PW_ON和RESET插针（见图2），用铅笔头触碰开/关机插针，机器正常运行与否便会一目了然。确认开机按键无误，再顺着电源盒输出线，依次拔出与主板及各硬件之间24孔、双12V和硬盘/光驱等所有供电插头。将24孔插头中的“绿线端”，对相邻任意“黑线”（地端/GND）人为短接触发电源盒工作，依据“电源风扇运转平稳、时转时停或者干脆无反应”，可快速甄别电源盒好坏。后两者显然系电源盒损坏，前者即使风扇运转平稳，还不能就此排除电源之嫌疑。在维修实例中，确有少数电源盒因其器件品质低下，加之使用年久器件老化而造成供电能力不足，仅能维持空载运行，加载后会引发不开机而黑屏。也有发现5VSB待机电源供电不良，造成不开机或频繁按动开关偶尔才能开机，以及按下开关，要待一会才能点亮显示器等延时启动的怪现象。也曾遇见P 4架构个别蹊跷的开机故障：一台采用金河田电源兼容机，2年后突然不能开机，单独测试电源盒风扇运转平稳，更换长城新品电源依旧不能开机，拿笔者机器内老款长城电源更换却正常，而所谓的故障电源和新长城电

新科牌干手机的检修

◎余俊芳

新科牌干手机主要由电源、振荡、红外线发射、接收电路、红外信号解调和功率驱动电路等几部分组成，其电路原理如附图所示。220V市电经1A保险管、C1、R1降压、限流后送入由VD1～VD4组成的桥式整流电路进行整流，然后由C3、C4等滤波、稳压管Z1稳压后得到9V直流电压，用来作为干手机各小信号电路的供电电源。图中RV为压敏电阻，是为了防止过压输入而设置，C2的作用是为了滤除高频杂波对电路的干扰。干手机由4与非门施密特触发器74LS132（以下简称IC）其中的一个与非门IC-1（1/4 74LS132）和外接元件R3、R4及C5构成1kHz方波振荡器。其振荡器输出的方波经VT1放大后从c极分两路输出，一路经R6送入红外线发射二极管VD6、VD7，使之向外发射脉冲红外线信号；另一路经R19送入IC的另一个与非门IC-2的1脚。VD5为红外线接收管（红外光敏管），9V电压经R7给VD5提供偏置电流；VT2、R8、R9构成接收的红外光信号放大电路，C6为信号耦合电容。当把手伸向热风出口时，由VD6、VD7发射的红外光将被手遮挡，部分红外光被手反射至红外接收管VD5（注：VD5与VD6、VD7在热风出口上方相距不远位置，VD5在VD6、VD7所发射红外不能到达的死区，如果没有手等障碍物反射是不可能接收到VD6、VD7所发射的红外光的）。于是光

源，装在笔者机器中都无异常。由此看出，电源盒与主板等其他硬件，也少许存在兼容性匹配故障。所以，电源风扇平稳运转，还不完全可信，借用良品电源盒替换会更直观。

在计算机开机及运行稳定性故障中，电源盒故障比重居首，主板次之。而且，多年积攒损坏的电源盒中，并非只是手感轻飘、小品牌或者标识不清的杂牌，这其中不乏有在品牌机中现身的，如：航嘉、长城、台达、HP和金河田等知名品牌。可以说，检测电源盒，不应以貌取人过分注重大品牌而省略环节走入误区。先确认电源盒良好，若再无“动静”，目光就只能投向主板和其他硬件了。我们可以采用最小硬件系统：拔掉硬盘、光驱、键盘、鼠标等硬件供电和数据线，主板上只保留CPU、内存和显卡（非集成显卡时）。通电测试，故障依旧，再相继拔去内存、显卡，甚至是CPU，分别依次通电，看主板上开机电路是否可以启动电源盒。检修多款主板证明，不论采用英特尔芯片组还是AMD芯片组的单一主板，只要短接开/关机插针，都可以启动电源供电，英特尔主板CPU散热风扇也会运转，因此运用逐一拔除法，诊断主板故障绝非武断。主板是计算机中搭载硬件的平台，它的优劣直接关乎计算机性能和稳定，而主板的品质也算是商家的秘密，只有商家自己知道售出与返厂的比率。市场中杂牌主板鱼目混珠，部分装机用户，并不知晓各硬件品牌和质量，盲目砍价而非择优入取，再遇奸商欺诈以次充好，定会给计算机的体弱多病留下伏笔。

2. 按下开机键，电源盒和机内各散热风扇运转，显示器不亮

“各风扇运转无报警”和遭遇“无规律短促鸣叫”的黑屏故障，都可以沿用以上论述排查，最好先行替换电源盒确认，效果会显而易见。“有规律报警提示”的黑屏故障，无论品牌机还是兼容机都会经常遇到，而且，多发生在主机搬移和油烟环境下使用的计算机。理论与经验证明，

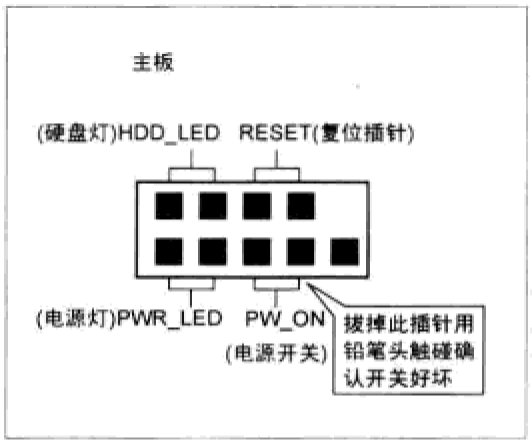
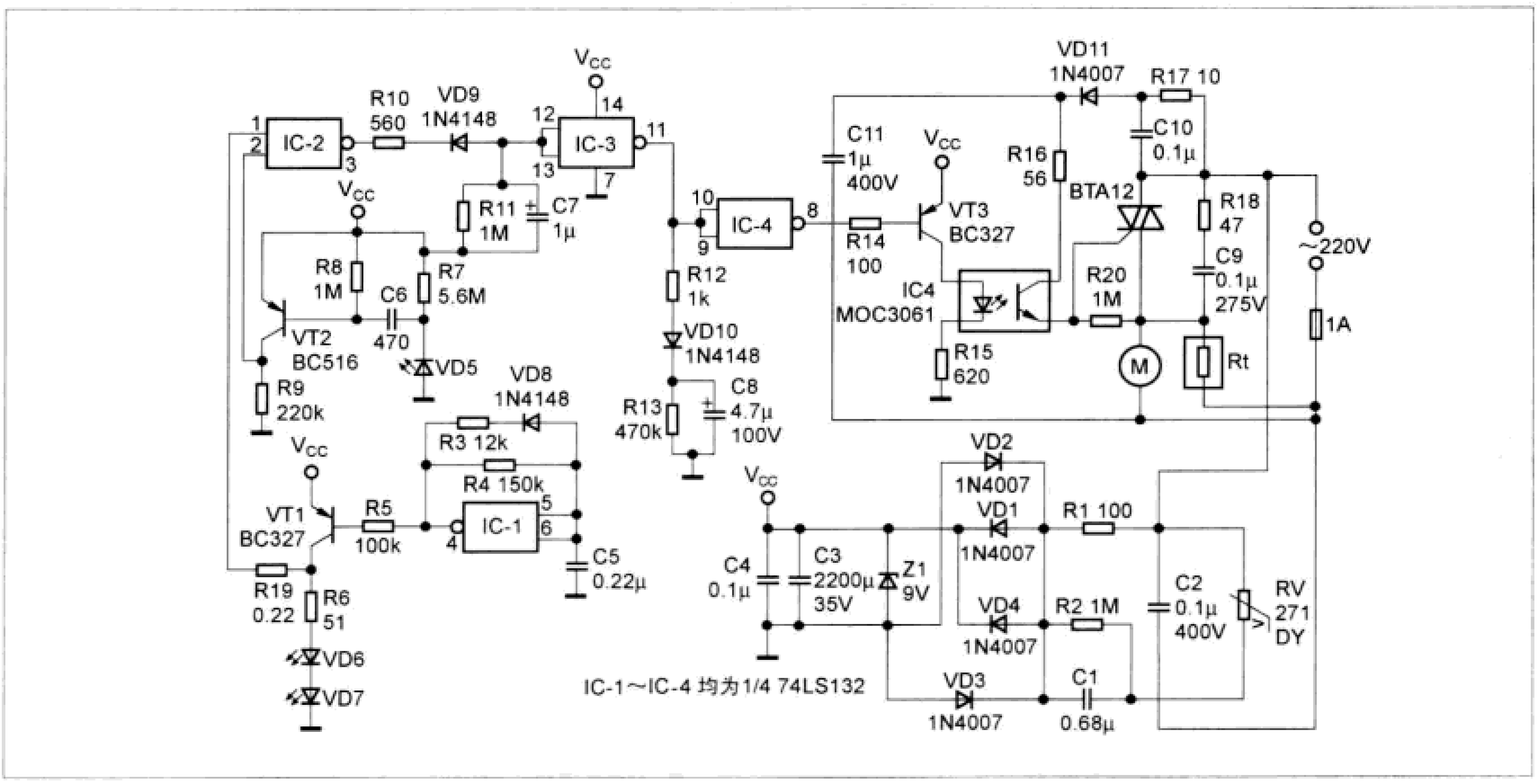


图2

“有规律报警音”，无论是“长鸣”还是“短叫”，故障多直接指向内存或显卡。用细腻布料或者橡皮和毛刷仔细清洁内存、显卡的双面金手指，并对相关插槽除尘；也可以将清洁后的内存变换至其他插槽，若非遭遇内存、显卡之器件短路等物理性损坏，基本都能排除报警，恢复运行，否则，就只能分别借用良品替换内存和显卡来确认，而出现“有规律报警”，故障却与内存、显卡无关，最终落实到主板层面的也仅为个案而已。



信号变为电信号经C6耦合，VT2放大后被送至IC-2的2脚，与1脚送入的红外光线频率是相同的，但时刻上比1脚送入的要晚一点（指具体某一个脉冲而言）。由与非门和施密特触发器特性可知，IC-2的3脚将有矩形脉冲输出，再经后面的IC-3、IC-4对输出脉冲信号进行整形和延时后由IC-4的8脚输出稳定展宽的脉冲信号，经R14送给VT3放大，然后由c极经光电耦合器IC4中发光二极管、R15到地。由于发光二极管被持续点亮，IC4内光敏三极管c、e极导通电阻将变得很小。于是经VD11整流、C11滤波后的直流电压将通过R16、光敏三极管c、e极、加至双向晶闸管BTA12触发器，使BTA12导通，于是风机M和加热器Rt均得电工作，即有热风从热风出口吹出，达到烘干手的目的。如果手离开出风口，将没有红外光被VD5接收，这时IC-2的2脚没有红外光电信号输入。由与非门特性可知，其3脚将没有脉冲输出，放大管VT3将截止，光电耦合器中发光二极管不发光，内部光敏三极管内阻将增至很大，于是没有触发电流加至双向晶闸管触发极，可控硅关断，风机与加热器均停止工作。

常见故障的检修

干手机常见故障有以下几种：

1. 接通电源后，手放入热风出口却没有热风吹出

产生该故障原因较多，在查电源风机和加热器无故障后，应先查VD6、VD7有无红外光射出，方法是用万用表R×10k挡接一只红外接收管（电子器材商店有售，普通彩电遥控接收头中也有），万用表红笔接发射管正极，黑笔接负极，这时阻值应无穷大。若将该管靠近VD6、VD7时阻值明显变小，则表明有红外光发出。反之亦然。若是没有红外光发出，通常是IC-1等构成的振荡器未启振，应查VT1、C5、R5是否损坏或漏电，必要时应更换74LS132试之。若查得VD6、VD7有红外线射出，再查IC-2的2脚是否有红外信号输入，若有，用示波器可看到脉冲信号波形。若没有，应查C6、R7、VT2、R9等是否损坏，然后再查IC-2的3脚、IC-3的11脚、IC-4的8脚、VT3的c极，看是否有矩形波信号输出。如果哪一级没有，就要对该级相关元件作进一步检测，甚至更换来排除故障。若直至VT3的c极都有信号波形，那么应该是光耦器中光敏管开路或双向晶闸管BTA12断路。若用万用表R×10k挡测光敏管（IC4）的3、4脚，此时应有几十千欧和无穷大的正、反向电阻。若表针正、反向测均不动，说明光敏管已断路。

2. 接通电源后，热风即吹出

该故障主要是光电耦合器MOC3061中光敏管击穿或双向晶闸管击穿，可用万用表检测即可很快确定。

3. 只有冷风吹出

说明加热器断路或接线松脱。

4. 热风出口有热感但无风出来

这说明风机断路未工作，应查电机接线是否松脱或电机绕组是否开路。

问与答

接修一台在单位食堂使用多年的格兰仕微波炉，故障为不加热，但转盘会转动，经检查高压二极管和电容均完好，高压变压器和高压保险丝管也没接触不良等问题，最后只好调换磁控管，结果故障消失。奇怪的是，拆下的磁控管似乎没坏，灯丝是导通的，而且与外壳绝缘，但就是不能工作，这是为什么？能否修复利用？ （辽宁　王士伟）

A 在食堂使用多年的微波炉，由于所处环境多烟雾和油垢，炉内零部件通常较易损坏。对此故障，首先应查看磁控管上的磁环是否锈烂和发射头是否被污物堵塞等？如果没有，拆开磁控管外壳，检查灯丝和外壳间是否存在打火痕迹和污垢，如果有，只要清除干净，大都就能解决问题。如果上述都正常，那么磁控管因老化等原因造成损坏的可能性较大，一般难以修复，没有利用价值。**（王德沅）**

Q 一台个人电脑原来使用正常，最近一天开机时突然发生蓝屏故障，电脑刚开机启动时还正常，但进入WIN XP启动程序时出现紊乱的图像，两三秒后就变成蓝屏，而且屏幕上出现半屏多密密麻麻的难以理解的英文说明。该机在一月前清理过，以后工作正常。拆机检查，没发现异常，只好试着再次清洁CPU风扇、电源风扇、内存条等，但都无效，后又试换内存条等配件也没用。该电脑以前没发生过此故障，最近也没新安装过软、硬件和改过设置，究竟何故？怎样排除？ （吉林　张超）

A 造成这种故障主要原因是电脑显示卡接触不良或损坏。判断该故障的关键是仔细观察蓝屏出现前的屏幕变化，由于该机在WIN XP启动时出现紊乱图像，实际是一种“花屏”现象，通常大都是显卡接触不良或损坏所致，如有人懂点专业英文，也可从蓝屏说明上看出点端倪（但这种说明不要说较难理解，就是理解了，有不少应对措施都是不妥或无法实现的）。所以只要拆卸显卡，仔细清除板上和插脚上的灰尘和污垢，再重新插入插座，上紧卡扣就行了。如果这样做后故障依旧，那么基本就是显卡损坏了。 **（王德沅）**

Q 有一个法国 PUERDE（普尔得）36W 电子镇流器发生故障，荧光灯点不亮，拆卸检查，发现有 2 个二极管和 2 个电容被烧坏，但是调换同型号器件后仍不能工作。再细查，发现保险丝管两端不导通，奇怪的是，印制板标记“BX”的位置上竟然没有保险丝管，不知何故？怎么解决？ （江苏　周普络）

A 这个电子镇流器印制板标记“BX”的位置上是没装普通保险丝管，因为保险丝管被制作在了印制电路板上，只要翻到印制板的铜箔面，就可看到对应于“BX”的区域有一段细细的铜箔线路，这就是“保险丝管”。如果该段铜箔线路被烧断，可以在“BX”两端焊装上普通小型玻管保险丝管，通常可用0.5~1A、250~500V规格的即可。 **（王德沅）**

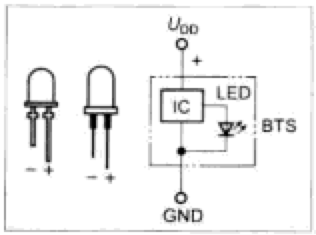
提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 有一台高级遥控模型汽车，车上有一个会闪光的指示灯损坏。该管外形像普通发光二极管LED，但是接上一个普通LED却被烧坏，测量其两端工作电压为4.6V左右，能否用普通LED代换？ （广东　毕海滨）

A 闪烁发光二极管（BTS）是一种由CMOS集成电路和普通LED组成的特殊发光器件，可用作操作、事故、欠压、超压报警等指示。闪烁LED的外形及引脚识别与普通LED相似，管壳内除了普通LED，还有一片由振荡器、分频器和缓冲驱动器等组成的IC，见附图。使用BTS时，只要在其引脚两端加上5V(少数品种为3~4.5V)的直流电压即可闪烁发光。如果一时购不到BTS，可用普通LED临时代换，只是发出的不是闪烁光了，同时因两者工作电压不同，故需根据普通LED的工作电流，串联一个适当的限流电阻才行。 **（王德沅）**



Q 我有一款USB便携式多媒体音箱，音响效果很好，但是其电源是要靠连接到电脑USB端口获得。为了便于在没有电脑的地方使用，我考虑买一个苹果MP3的充电器，其主要特性：交流电压为 100~240V ,50/60Hz，最大电流为150mA、5V直流/1A ,不知这个150mA充电器是否太小？可不可给USB便携音箱正常供电，会对音质、音箱或充电器造成不利影响吗？ （湖南　韩金波）

A 150mA是这个苹果MP3充电器的输入电流，输出电流应该是1A（5V），一般电脑的USB插口的额定电压/电流为5V/500mA，充电器电流容量是电脑的1倍，所以完全可用来给音箱供电，不会出现什么问题。倘若充电器输出电流容量不足，则可能造成音频输出功率不足、声音失真和自动关机等故障，所以选购时一定要注意这个问题，最好购买正牌优质充电器。 **（王德沅）**

Q 有一把价值1000多元的进口电动剃须刀不能使用，拆卸检查，发现几个元器件损坏，基本上都调换了新件，只是其中有一个型号为“SR360”的二极管没有购到，其体积明显大于机内其他几个二极管，不知该管的特性如何？能用普通整流二极管代换吗？ （四川　李达刚）

A SR360不是普通二极管，而是SBD，即肖特基（Schottky）二极管。SBD是一种热载流子二极管，与利用PN结原理制成的普通二极管不同，它是利用金属－半导体结原理制成的。SBD具有低正向压降（0.4~0.75V）、大电流、超高速等优点。SR360的反向重复峰值电压为60V，正向平均电流为3.0A，正向峰值电流为80A，正向电压为0.74V（正向电流为3.0A），封装为DO-201AD。在电须刀中，SR360用在充电电路中，由于普通二极管的正向压降和速度等特性都明显不如SR360，故而不能代换，应该用特性相似的SBD来代换。 **（王德沅）**

澳柯玛电动车充电器检修技巧

◎梁明义

目前，人们的出行方式多种多样，电动车是其中很受大家青睐的一种便捷、环保的出行方式。但是伴随着电动车的普及，其维修保养的问题也逐渐受到大家的关注，如电动车电瓶使用寿命低以及今天笔者将要给大家进行讲解的电动车充电器的问题。

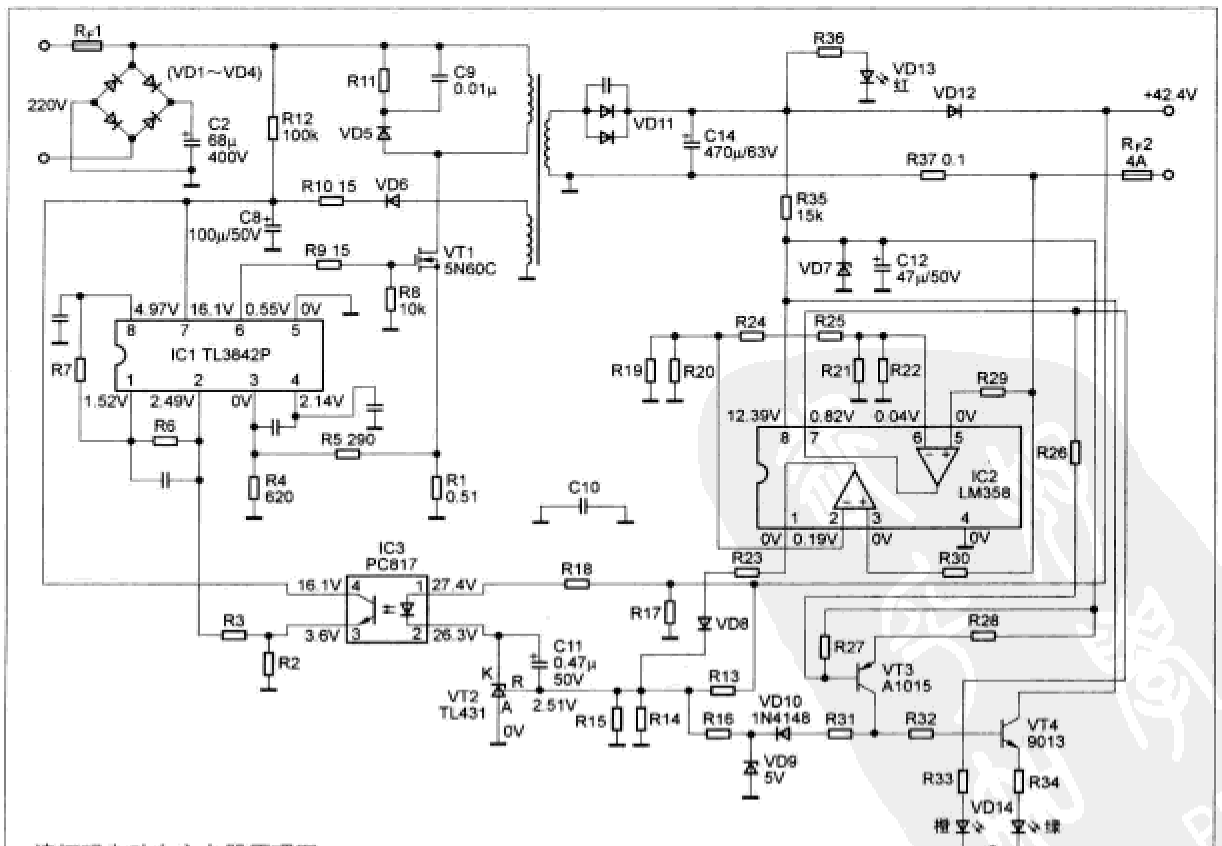
一台澳柯玛36V电动自行车，充电器不能进行充电。打开充电器塑料外壳，明显观察到场效应功率管VT1（5N60C）炸裂，限流及取样电阻R1（0.51Ω）、激励脉冲传输及分压电阻R9（15Ω）、R8（10kΩ）均烧断变色。42V输出保险丝管RF2变黑。细究充电器损坏情况，了解到是错给不同的电动自行车充电造成的。

分析该充电器原理图（见附图，根据实物绘制）：电源集成块IC1（TL3842P）及场效应功率管VT1（5N60C）组合构成开关电源电路。以双运放IC2（LM358）及外围元件对充电过程进行实时监测及控制，通过VD13（红）、VD14（橙、绿）来显示充电状态。

将以上损坏的元件全部换新。考虑到VT1炸裂，R9烧断，电源集成块IC1很可能也受到损坏。在路测IC1的6脚对地时，发现果然短路。将IC1进行更换后，为稳妥起见，还要检查后级反馈电路。在此采用快速可靠的“在路检测法”来检测光耦IC3（PC817）及VT2（TL431）。先将数字表（DT9205型）调至“20k”电阻挡，红、黑表针分别接光耦IC3的4、3脚，再将指针式万用表（MF47D型）调至“R×10”挡，其黑、红表针分别接光耦IC3的1、2脚（该挡位提供约1.5V的电压及合适的电流），此时数字表显示阻值由“溢出”迅速跳变至1.06kΩ。这说明光耦IC3正常。接着再测VT2（TL431），将指针式万用表调至“R×10k”挡，黑、红表针分别接TL431的K极、A极（该挡位提供约11.2V的电压），再将数字表调至“二极管”挡，红、黑表针分别接TL431的R极、A极（该挡位提供约2.8V的电压及合适的电流），此时指针式万用表的指针由无穷降至300kΩ处。这说明VT2（TL431）也正常。

仔细观察电路板上其他元件无异常后，加电实验，只听“啪”的一声，VT1再次炸裂，R1（0.51Ω）、R9（15Ω）烧断，IC1（TL3842P）也再次击穿。再用以上方法快速检查后级反馈电路，仍无问题，怀疑开关电源部分其他元件有问题。拆掉烧断的R1、R9及炸裂的VT1，暂不换新，在路逐一检测IC1周围元件，当测至R5（290Ω）时，发现其两端阻值无穷大，取下后测量R5断路（但该电阻外观正常）。分析该电阻连接IC1的3脚（电流检测），输送R1上的取样电平，起重要的保护作用。将以上损坏的元件再次全部换新，检查无误后通电，红色及绿色指示灯亮起，万用表测得充电器（空载）输出电压为42.4V，电路中各元件引脚电压（空载）见附图所标注，供同行维修时参考。

小结：由光耦IC3（PC817）及VT2（TL431）组合的误差反馈控制电路，在各种小型开关电源电路中很常见。如能恰当利用文中介绍的方法进行在路检测，必能提高检修的速度，且该方法简单易行。



澳柯玛电动车充电器原理图

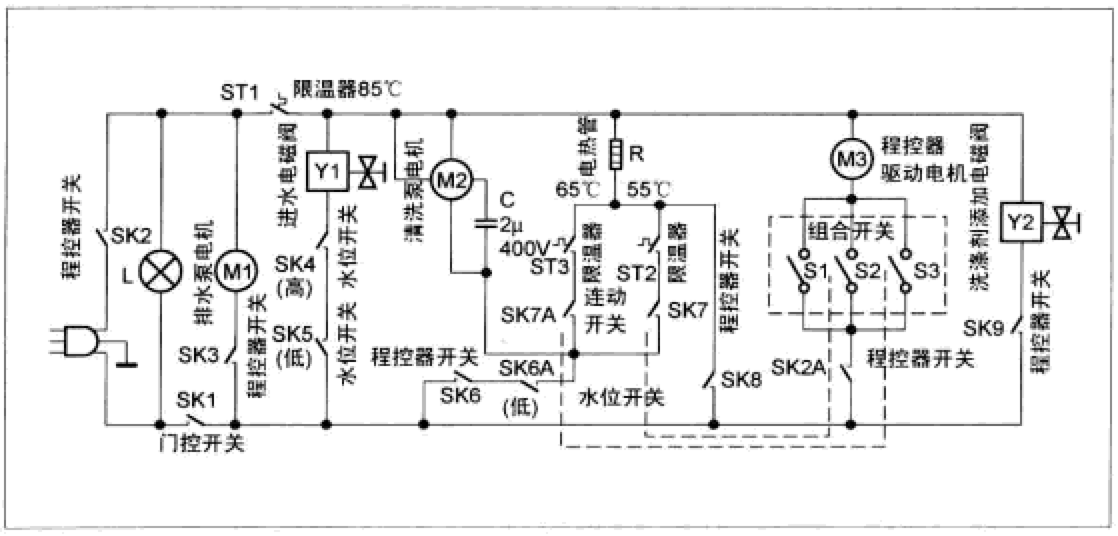
家用全自动洗碗机原理与维修

◎王绍华

随着人们生活水平的提高，自动洗碗机已经不再是饭店的专用设备，它已经逐渐走进了普通百姓的家里，但是随之而来的就是关于自动洗碗机如何去维修保养的苦恼，今天，我就给大家介绍一款万家乐WQP-900型家用全自动洗碗机的原理与维修

工作原理

万家乐WQP-900型家用全自动洗碗机的整机结构主要包括机电控制部分、洗涤部分、漂洗剂添加部分、电加热部分、餐具放置部分和进/排水部分等组成。控制与洗涤程序是一个机械凸轮式程控器来执行，由一个永磁式同步电动机来驱动。洗碗机前面板上装有电源指示灯，常温、55℃、65℃三挡温度琴键选择开关和程控器旋钮，以便用户根据被洗餐具的脏污程度选择合适洗涤水的温度。餐具从顶部放入，当顶盖关闭后，门控开关自动接通。洗涤部分包括喷臂、进水电磁阀、清洗泵电机、水位控制器及排水泵电机等。加热部分是一个不锈钢外壳的电加热管，用来加热洗涤水，并利用余热来烘干已洗净的餐具。



万家乐WQP-900型家用全自动洗碗机的电原理见附图。下面介绍具体工作过程：先接通水源和电源，放入待洗餐具，向洗涤剂盒中加入洗涤剂，放下顶盖后，门控开关SK1自动接通，然后按下洗涤温度选择开关S1、S2或S3（常温、55℃或65℃），顺时针转动程控器旋钮至“ON”位置，于是由程控器凸轮控制的开关SK2、SK2A接通，电源指示灯L点亮，因水位开关SK4（高水位）、SK5（低水位）均处于常闭状态，故进水电磁阀Y1得电打开，外面自来水进入洗碗机。当水位达到设定高度时，在水压作用下水位开关SK5断开，切断进水电磁阀Y1供电，进水停止。如果SK5因故障不能断开，使水位上升至高水位开关SK4位置时，高水位开关SK4将会自动断开，切断进水电磁阀Y1供电，使进水停止，以避免水从洗碗机顶盖处溢出。在水位达到要求后，如果选择“常温”，可按下S1（此时S2、S3会自动弹起）。于是程控器驱动电机M3得电运转，洗碗机进入工作程序。经5~6s后，由程控器凸轮控制的开关SK6闭合，因另一低水位开关SK6A常开触点闭合（SK6A的作用是确保洗碗槽在无水的情况下，电加热管不会通电），所以清洗泵电机得电运转。与此同时，由程控器凸轮控制的开关SK9也闭合，因而洗涤剂添加阀门得电打开，向水中注入洗涤剂，经3~4s后，SK9断开，洗涤剂添加结束。清洗泵电机运转时对水加压，被加压的水经喷臂的喷水孔射出，而喷臂在喷水的反作用力下旋转，从而使水以一定压力不断地从各个方向射向所洗餐具，以达到降低餐具所附油脂粘度和残渍附着力、最终洗净餐具的目的。如果餐具所附油脂粘度较高，可按下S2或S3，此时与S2或S3联动的开关SK7或SK7A也同时闭合，于是加热管R得电，对洗涤水加热。如果按下的是S2，在水温超过55℃时，温度限制器ST2会断开，也就是洗碗水的水温约55℃。同理，若按下的是S3，在水温超过65℃时，温度限制器ST3会断开，也就是洗碗水水温约65℃。水温越高，对餐具上的油污、食物残渍的分解速度就越快，洗净度就相对较高。在经约4min洗涤后，由程控器凸轮控制的开关SK3闭合，SK6断开。于是排水电机M1得电工作，将洗涤后污水加压快速排出，约经40s，SK3断开，排水结束。在水排完后，SK5（低水位）又处于闭合状态，故进水电磁阀Y1得电打开，外面自来水再次进入洗碗机，当达到设定水位后，SK5断开，SK6再次闭合（但SK9不闭合，故不会再加入洗涤剂），清洗泵电机再次得电，对餐具进行第一次漂洗 。约经2min，SK6再次断开，同时SK3闭合。故清洗泵停转，排水电机工作，约经40s，SK3断开，排水结束，餐具第一

次漂洗完成。显然SK5会又自动闭合，进水阀再次打开……重复上述过程，对餐具进行第二次、第三次漂洗。在第三次漂洗过程中，，由程控器凸轮控制的开关SK8闭合，电加热管电路接通（指采用常温洗时，加热后的水温一般不会超过65℃），目的是为了待第三次漂洗结束后，利用余热对餐具进行烘干。若采用的是55℃或65℃加热洗，SK8闭合对加热电路没有影响。ST1是防止限温器ST2、ST3损坏或其他原因而使洗涤水温过高而设置的。在第三次漂洗结束后，由程控器凸轮控制的开关SK8断开，SK3闭合，于是排水电机M1得电工作，将漂洗后的水加压对外排出，经约40s后，水槽中的水被排完，SK3断开。排水电机停止工作。与此同时SK2、SK2A也断开，程控器旋钮指示标记也退至“OFF”位置。电源指示灯L也随之熄灭，整个洗碗程序全部结束。此后一段时间可利用餐具上的余热将餐具上的水汽烘干，也就是经5～7min后，可将餐具取出使用或保存。

常见故障

1. 插上电源插头后指示灯不亮，洗碗机不工作 。

该故障说明市电未接入洗碗机电路，可能原因有：

（1）电源插头与电源插座接触不良。可重新换一插座试之。

（2）程控器开关触点SK2氧化或开关内弹簧变形，导致接触不良或不能接触。若确认，应用0＃砂纸修理触点或更换程控器。

2. 插上电源插头，将程控器旋钮旋至“ON”（开）位置后，电源指示灯亮，但整机不工作。

该故障说明电源已接入洗碗机，但程控器未工作。可能原因有：

（1）门控开关SK1或程控器开关SK2A触点氧化，若确认，应用0＃砂纸修理触点或更换程控器。

（2）85℃限温器开路，引起电路不通，应予检查。若确认应予更换。

（3）程控器驱动电机M3绕组开路（绕组直流电阻为9.5～10kΩ）。若测得阻值异常，需用50DT206H原型号永磁同步电机更换。

3. 程序控制器能运转，但不能进水。

该故障是进水电路电源不通或进水电磁阀损坏所致。可能原因有：

（1）电源电压太低或自来水水压太低，致使进水电磁阀不能打开。应先检查电源电压和自来水水压是否正常。

（2）进水电磁阀电源接插件氧化，导致电磁阀不能得电打开，应检查。若确认，可将插口拔出后，先除去氧化层，再将孔夹扁后再重新插入即可。

（3）水位开关SK5内部触点接触不良。通常是开关橡胶膜穿孔漏气或开关外部铆合环松动，导致气室漏气。可拆下水位开关，向水位开关进气口吹气，若能听到两声“嘀嗒”触点动作声，则说明水位开关正常，否则应予更换 。

（4）进水电磁阀绕组开路或滑动轴锈蚀，致使阀门不能打开。可先检查滑动轴是否锈蚀，若正常，再测绕组直流电阻（正常为5kΩ）。若异常，应更换进水电磁阀。

4. 能进水，但不能清洗。该故障说明清洗电路电源不通或清洗电机本身损坏。

产生故障的原因有：

（1）低水位开关SK6A触点氧化或开关内复位弹簧变形，致使清洗泵电机M2失电停转，应检查更换。

（2）程控器开关SK6本身触点氧化或烧蚀，使清洗泵电机M2不能得电运转。应对开关用上述方法进行修理或更换程控器。

（3）清洗泵电机启动电容C（2μF/400V）损坏。若检测确认，应予更换。

（4）清洗泵电机绕组开路。该电机绕组有3个引出端，其中起动绕组阻值为40Ω，运行绕组阻值为120Ω。若测得阻值异常，应更换电机。

5. 能清洗，但不能加热。这显然是加热电路电源不通或加热器烧坏所致。

产生故障的原因有：

（1）组合开关SK7、SK7A（含限温器ST2、ST3开路）或程控器开关SK8触点烧蚀或开关内弹簧变形，致使加热电路不通。应予修理或换新。

（2）加热器R内部烧断（正常阻值为95Ω左右），若测得阻值无穷大，则只能更换加热器。

6. 不排水。这说明排水电路（或水路）不通或排水泵电机损坏。

具体故障点有：

（1）程控器开关SK3触点氧化或烧蚀，若确认，应予修理或更新程控器。

（2）排水泵进水口有异物堵塞。检查确认后可清除。

（3）排水泵电机绕组线圈开路。该电机为罩极式异步电机（绕组正常阻值为40Ω左右），若异常，应更换。

7. 喷臂不能旋转。这是喷臂受阻或清洗泵电机未工作。

产生故障的原因有：

（1）喷臂被餐具挡住，重新摆放餐具即可。

（2）喷水口被异物堵塞，可检查清除。

（3）清洗泵电机M2启动电容C失容或电机绕组损坏，检查确认后应予更换。

8. 漏水。

常见原因有：

（1）进水管或排水管接头松动。找出漏水接头，用704防水密封胶重新封固即可。

（2）进水管或排水管龟裂，应更换

新品。

（3）喷臂轴密封垫圈损坏，更换新品即可。

9. 壳体漏电。

常见原因有：

（1）相关带电导线绝缘程度降低，使之与机壳发生漏电。若漏电不严重，使用前应接好接地线。若对地超过 100V 以上，必须认真查出漏电点，排除后才能使用。

（2）电热管外壳局部破损，使洗涤剂渗入电热管。若确认，应予更换。

（3）电热管密封圈龟裂。只能更换新品。

检修实例

例1 插上电源插头将程序控制器控制旋钮标记点旋至“ON”位置，电源指示灯L点亮，但整机不工作。

显然电源已经接入洗碗机。经查，发现是门控开关SK1因氧化不能导通。经用0#砂纸对触点进行研磨后试机，故障排除。

例2 不能进水。

经观察，发现进水电磁阀由于所处环境潮湿，阀芯生锈严重。经用0#砂纸对金属阀芯进行去锈处理，并涂上润滑油后试机，不能进水故障排除。

例3 清洗中，水从机上盖附近溢出。

这显然是水位开关或进水阀因故障不能关闭所致。先拆下水位开关，对着进气口吹气，能听到两声“嘀嗒”开关触点动作声，据此说明水位开关是正常的。最后查出是进水阀内的复位弹簧由于严重生锈，已失去弹性，导致进水电磁阀即使不通电，其进水口也一直不能关闭。所以进水管只要接入自来水，就会不停进水，从而形成本故障。经更换进水阀内复位弹簧后试机，故障消失。

豆芽机的维修

◎屠宗芳

随着生活水平的提高，环保产品已成为人们家庭用品的首选，最近市场上出现环保豆芽机就是一例，自制无公害豆芽已成为百姓的绿色健康生活之一。这里介绍一款爱多星豆芽机，由于是新产品，资料比较少，一旦出故障，维修会有困难，因此笔者将自己测绘的原理图、印板图、工作原理及常见故障的处理方法介绍给大家，供大家参考。

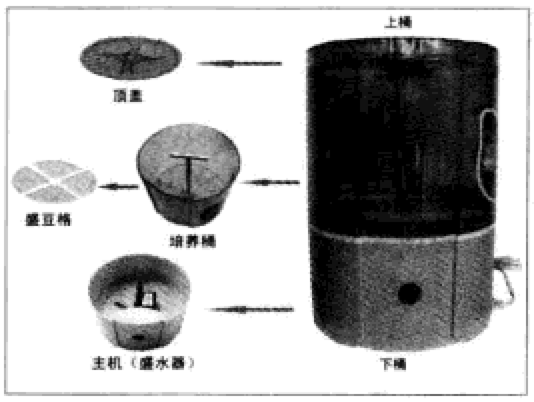


图1 结构图

工作原理

爱多星豆芽机分为上下两个桶（见图1），上桶为培养桶，下桶（盛水器）用于放水。把种子放在上桶中，水通过T形水管喷水头为种子淋水，之后水又回到下桶中，如此循环浇水，保证了种子发芽需要的水分，同时也为种子降温。前提是每天需要更换下桶中的水。下桶中装置一个潜水泵和一个恒温加热器。

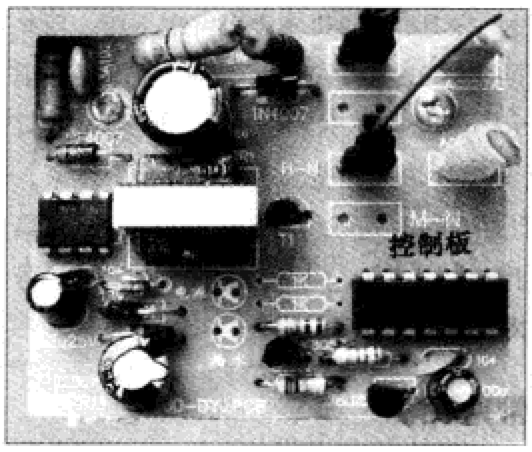


图2 JD-18爱多星豆芽机控制板

JD-18爱多星豆芽机控制电路板安装在下桶底座中，设计时下桶中的水不能滴漏到下桶底座中，否则控制板（见图2）就要损坏，这种故障较多。笔者维修中根据测绘印板（见图3）画出了电原理图（见图4）。电气工作主要由3部分组成：AC/DC开关电源、恒温加热器和定时启动潜水泵自动喷水电路。

AC/DC开关电源采用单片VIPER12A芯片， VIPER12A是意法半导体有限公司于2002年面市的单片小功率开关电源，具有固定60kHz的开关频率，芯片的电源电压范围很宽（9~38V）；具有电流控制形PWM调制器，具有滞后特性的欠压、过压、过流及过热保护功能等。芯片外围电路很简单并具有节能特性。由于VIPER12A内部的功率MOSFET管是一种特殊的“灵敏场效应管”，内部有两个源极S1、S2，其中S1接外部参考地，S2用于电流检测，且IS1远大于IS2，因此，能无损检测出漏极电流ID，从而达到节能。而其他类形开关电源的漏极电流都是百分之百地通过检测电阻，这必然增加功耗，导致电源效率降低。该电路中设计很简单，交流通道中滤波电感及电容均省略，保护二极管采用UF4007，AC/DC输出为直流9V。

恒温加热器能自动恒温，温度维持在28℃~30℃，使用加热器直流电阻值为700Ω，加热器直接接在电源开关后的电路中，这样在寒冷冬季也能使用。

开关电源输出9V电压经三端稳压器7805，将直流 5V提供给定时芯片IC2(芯片型号不详，厂家已将字迹磨光)第 4脚，

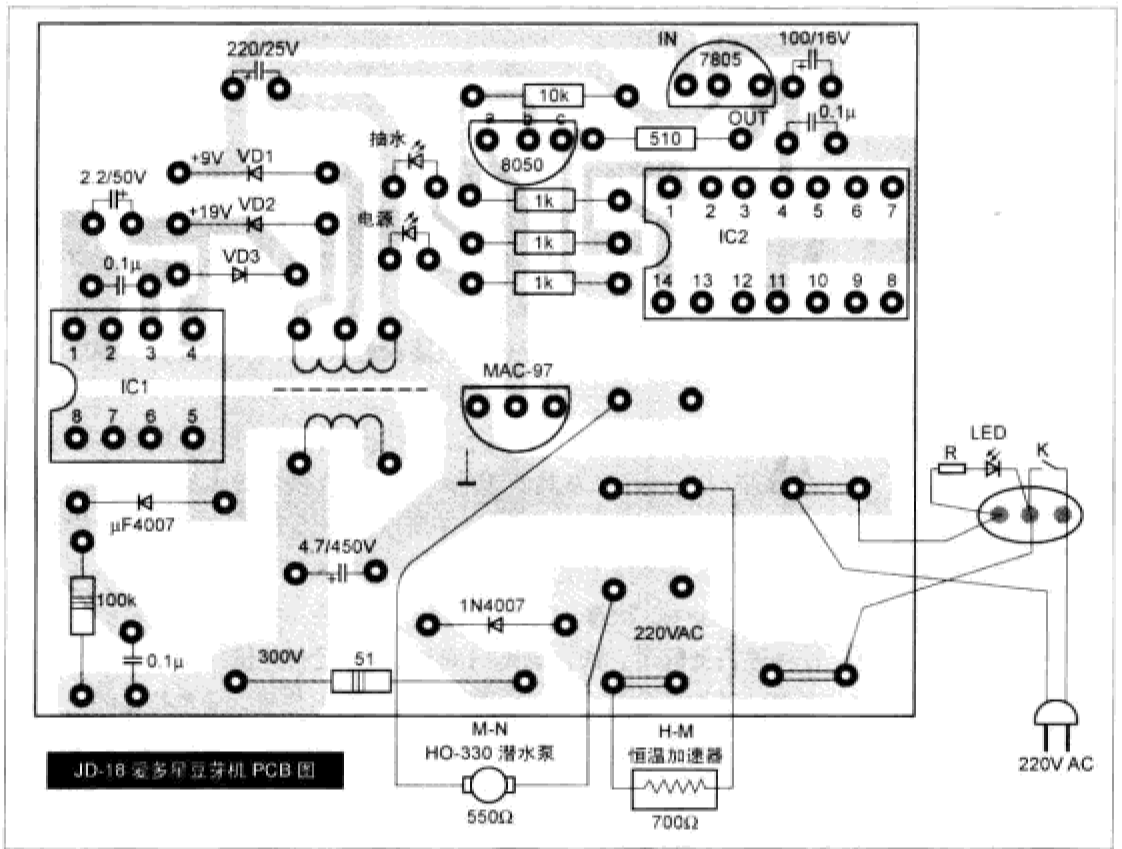


图3 JD-18爱多星豆芽机PCB图

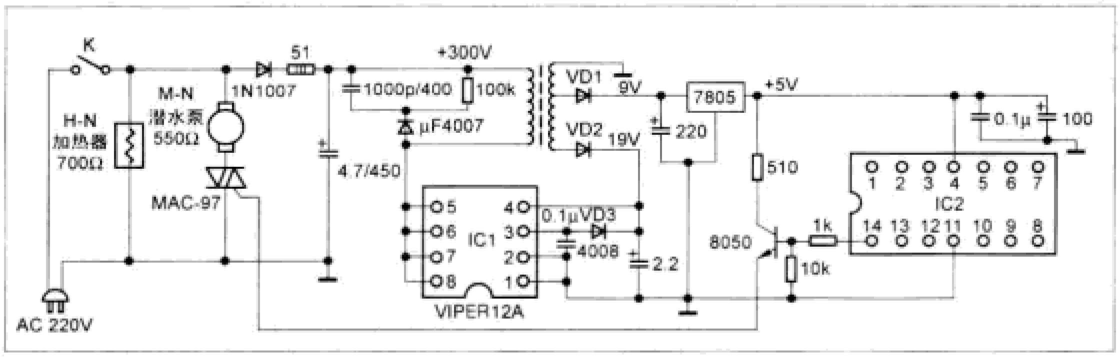


图4 JD-18爱多星豆芽机原理图

IC2第14脚每一小时输出一个宽度为 1分的正脉冲，使三极管8050的eC极导通，触发双向晶闸管MAC-97，使潜水泵定时工作1分钟，潜水泵喷水使T形喷管 360°旋转，给种子喷水。潜水泵为国产潜水泵，不像宣传中所说是进口潜水泵，其型号为：HG-330A （AC220V-240V/50Hz，3.5W，扬程 0.7m，300l/H），它安装在下桶（盛水器）中，潜水泵的侧面为进水口，在进水口的旁边配有调节门，可以调节出水量。

1. 开关指示灯亮、不喷水（机械故障）

当T形喷水孔不转、不喷水时，可以拆分T形喷水孔，它由两部分组成：一截直管和一个T形喷水孔。然后检查直管下端是否光滑，把管表面附着的脏物清除即可。另外，不喷水时可以把小T形喷水孔二端堵塞物取出来，看一下管子里是否有脏物，用铁丝通一下，喷水小孔用针通即可成功。

2. 电源指示灯亮潜水泵不喷水

该机指示灯只指示开关好坏，从原理图上可以看出它不能表明开关电源是否良好，且没有保险丝管，这样就必须要检查控制板（见图2）。原印板上有2个发光二极管，一个指示电源，接在8050三极管的c脚。另一个指示抽水，通过一个电阻接在IC2的 1脚，可是实际没有安装元件，所以只能检查控制板。拆开下桶底盖的4个螺丝便能看到底座内一块控制板和恒温加热器，这时下桶不要加水，反过来检查，拆下控制板反过来参照印板图（见图3）。用万用表测量电源开关，如有AC220V电压，则检查 4.7μF电解电容两端，看这两端的直流电压是否为300V，如没有，那可能是整流管1N1007损坏，或是 3W 51Ω电阻烧坏，只要按原样换上，但上电前一定要检查IC1是否已烧坏。检查IC1方法：用MF-47万用表电阻Ω×1挡，黑笔接芯片 1、2脚，红笔分别测芯片3、4、8脚，测得值为 24Ω、22Ω、15Ω左右，再测 3、4脚，黑笔接3脚，红笔测 4脚，测得的电阻为22Ω，反向测为无穷大 。一切正常后再通电。测量VD2处为+19V，VD1处为 +9V。7805输出点为+5V，则表明开关电源是正常的。

检查、调试开关电源，最好使用一只60W 白炽灯串联在电路里，这样既可避免开关电源短路造成跳空开，又能从白织灯亮度反映负载情况，这是维修任何开关电源的最好方法（要注意这里公用地与交流不隔离，带电测量时注意安全）。

这时可多合分几次开关，潜水泵就能启动。如不启动，可检查IC2的14脚是否有1.8V，如有，则可能是 8050或双向晶闸管损坏，另外也可直接短路MAC-97阳极与阴极来判别潜水泵好坏。

从几次维修情况可知，大部分情况是开关电源损坏，主要原因是下桶漏水到底座中，使控制板浸水造成短路，损坏电源芯片或 51Ω限流电阻，定时芯片很少损坏。修好控制板后必须将漏水地方堵塞密封，主要漏水地方是潜水泵电源线到底座的线孔，可用玻璃胶封死。

JD-18豆芽机中除定时芯片IC2、恒温加热片以外其他均为市场常用元器件，潜水泵市场也可以方便买到。

豆芽机是新出现的产品，当遇到故障，通过自己双手将其修好了，是很有成就感的。

Q&A 问与答

Q 有一块瑞士CANDINO电子表发生停走故障，调换新电池无用，后来对电池接触点等进行清洁后，有时能够走动一会儿，但是几分钟或几十分钟后又停了，反复搞了多日没解决问题，后来只好到相关维修部检修，结果说是机芯电路板损坏，换板需要1000元，令人无法接受，不知可否自行修复？（天津　林伟达）

A 根据我们的实践经验，不换板而修复这种电子表是有较大希望的。因为这种故障大都是晶体振荡器电路停振或时振时停所致，而其根源则是机芯电路或晶体振荡器等元器件受潮后性能变差。检修时，可拆开后盖，取出电池，将表芯放在阳光下暴晒7~8小时（最好在夏季、春末和初秋），然后待热量散去后装上电池，通常手表就会恢复走动，但是往往不稳定，还必须多晒几次，一般如此晒了3~5次后就会完全恢复正常。如果多次晒后仍然不行，说明该手表不适用这种方法。**（王德沅）**

Q 一台电脑的三星光电鼠标，原先使用一直正常，但是最近在上网操作鼠标时，经常发生光标突然消失或停滞不动的现象，需要重启电脑或反复多次滑动鼠标才能使光标出现或移动，使用起来觉得好难受，经检查，鼠标插头接触良好，鼠标线也是正常的，这是什么问题？怎么解决？（山西　徐文）

A 造成这种故障的主要原因有：一是光电鼠标中光敏传感器被污物遮盖或干扰，只要用酒精棉花仔细清洁鼠标底部的光电通路凹槽，去除尘絮等污垢即可。二是有些鼠标对鼠标垫颜色层次很敏感，鼠标垫颜色太丰富、有污物或不光滑就可能造成这种现象，对此只要换单色的鼠标垫、或清除鼠标垫上的污垢就可解决问题。少数鼠标是光电电路不良而造成这种故障，这就需要拆卸鼠标进行检修。

（王德沅）

Q 有一款输出功率为2W的USB便携式多媒体音箱，每次开机十几到几十秒后就自动关机，但是工作时音量较响，音质也不错。拆下机内的一块1000mA/h、3.7V的充电电池，测量其电压为3.65V，属正常，不知是否自动关机电路出了故障？怎么检修？（福建　秦韬）

A 这种故障大都是充电电池电量不足所致。因为输出功率为2W的音箱，其消耗电流较大，对电池的容量要求较高，如果电量不足，开机后消耗电流较大，充电电池的电压就会迅速下降，从而触发低电源关机电路动作而导致自动关机。由于拆机测量的是充电电池空载电压，貌似正常，但只要接上负载就会明显下降，所以只要将充电电池充足电就可排除故障。但是有些机器产生这种故障是因为充电电路损坏，因此，若充不了电，就要检查充电电路了，通常以限流电阻损坏较为多见。**（王德沅）**

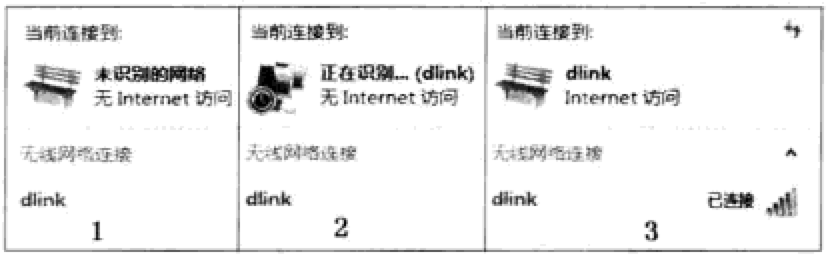
Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 我家的台式电脑采用Cable Modem上网，另有一台笔记本电脑通过D-LINK路由器无线上网，用笔记本上网常常觉得不太顺，接通D-LINK电源后，总要反复多次打开浏览器，看网络是否连通，往往要经过一番周折，才能成功上网，这是何故？能否解决？（江苏　韩立群）

A 不用打开浏览器反复试验网络是否接通，可在连接好D-LINK和猫（Modem）及其两者的电源后，点击笔记本屏幕右下角任务栏的无线网络标志，出现如附图所示的无线网络连接画面，它会从“未连接”状态依次进入如附图所示的“未识别的网络”、“正在识别”和“dlink”状态。进入“dlink”状态后，就可打开浏览器等上网软件进行上网了。通常识别时间为几十秒到1分钟，如果长时间不能识别，说明笔记本没有搜索捕捉到无线网络信号，通常是无线路由器没连接好或初始工作状态不对所致。**（王德沅）**



Q 有一个PUERDE（普尔得）36W电子镇流器经常发生故障，每次都是内部的功率管MJE13003H被击穿损坏，不知其主要特性如何，如果安装时加入散热器，能否避免其被烧坏？（陕西　赵普金）

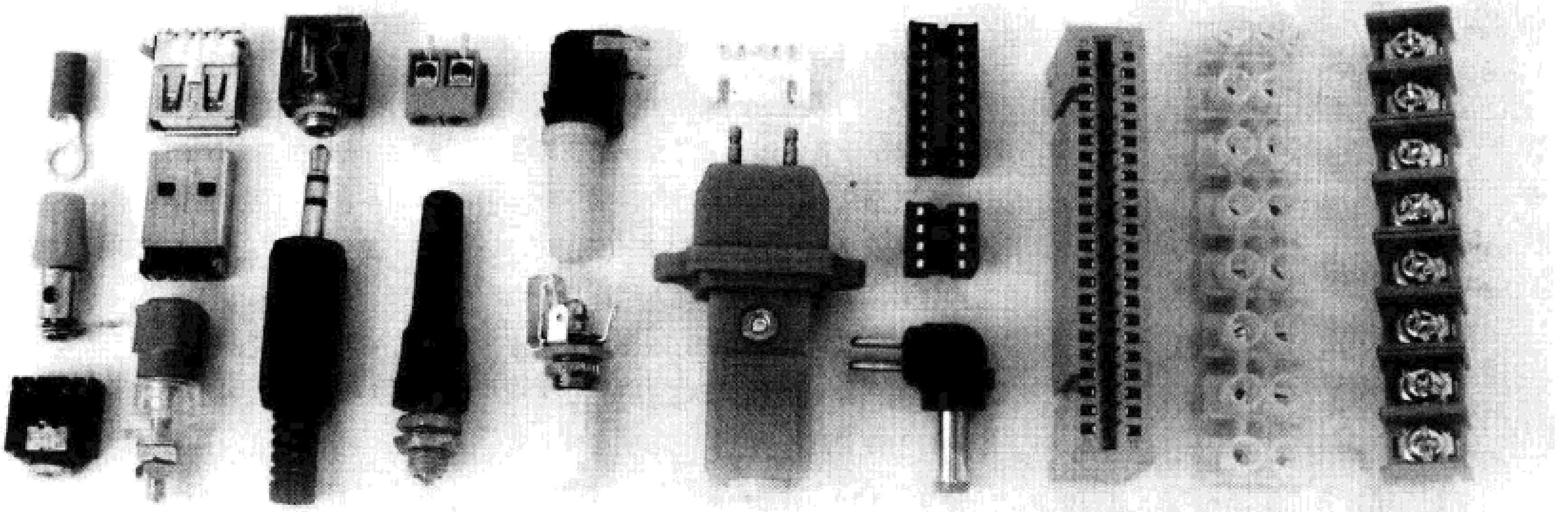
A MJE13003H是硅NPN型三极管，采用TO-126封装，主要特性如下：BV_{cbo}=600V、BV_{ceo}=400V、I_C=1.5A 、P_{CM}=1.25W（加散热器为40W）。如果镇流器电路基本正常，那么该管容易被烧的主要原因有两个：一是管子本身质量不佳，二是市电电压过高。所以避免损坏的措施首先是要使用正牌优质功率管。其次，如果市电电压高，管子温升厉害，可考虑加入散热器，但是一般情况下并不需要这样做。MJE13003H通常可用同样为TO-126封装的MJE13003I、MJE13003K、3DD13003H等直接代换。**（王德沅）**

Q 通常红外发光二极管和普通可见光发光二极管的外形大都差不多，实践中发现仅靠目测很难区别，不知能否用万用表等仪表进行快速测量判断？（浙江　孙建国）

A 由于两者的正向导通阈值电压不同，普通发光二极管的阈值电压通常大于等于1.8V，而红外发光二极管的阈值电压通常小于等于1.5V，所以根据这点，只要用表内电池为1.5V的万用表R×1k挡，按测量普通二极管正、反向阻值的方法就可做出快速判断，即：如果测量正、反向阻值都无穷大的就是普通发光二极管，而正向阻值为10~15kΩ、反向阻值接近无穷大的即为红外发光管。**（王德沅）**

常用元器件的识别与使用（24）

◎张晓东



“里应外合”的接插件

接插件也称连接器，它是实现电路器件、部件或组件之间可拆卸连接的最基本的机械式电气连接器件。常用的接插件包括各种插头（插件）、插座（接件）与接线端子等，其主要功能是传输信号和电流，并可控制所连接电路的通或断。

接插件种类很多，外形各异，应用十分广泛，其性能好坏直接关系和影响到整个电路系统的正常工作。下面向初学者介绍一些最常用的接插件的识别与使用方法。

如何识别接插件

1. 种类及用途

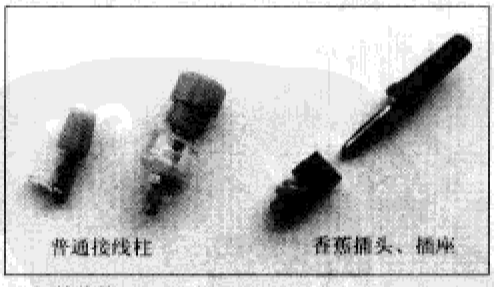
接插件可分为两大类型：一类是用于电子电器与外部设备连接的接插件，另一类是用于电子电器内部电路板与电路板、电路板与器件或组件等之间线路连接的接插件。如果按形式不同，可分为单芯插头和插座、二芯插头和插座、三芯插头和插座、同轴插头和插座、多极插头和插座等。按用途不同，又可分为音频、视频插头和插座、印制电路板插座、电源插头和插座、集成电路插座、管座、接线柱、接线端子和连接器等。

常用接插件的实物外形如图1所示，下面分别对其功能和用途进行简单介绍。

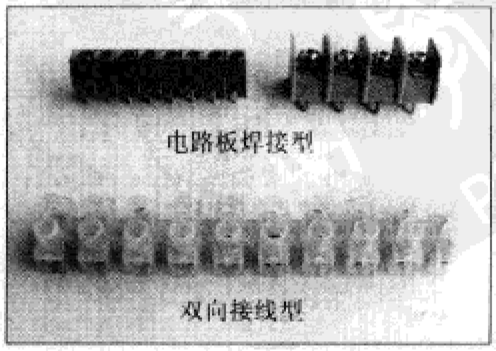
（1）接线柱。接线柱常用于电子电器与外部设备之间的连接，其外形如图 1（a）所示，它可分为两种形式：一种是图左边的普通接线柱，其特点是可直接把连接导线的接头通过紧固螺帽压在接线孔中；另一种是图右边的香蕉插头、插座，其特点是将连接导线焊在插头上，再与插座插接到一起。由于插头上面的弹簧片形似香蕉，故该接线柱又被称作“香蕉插头、插座”。

（2）接线座。接线座主要用于电子电器内部电路板与电路板、电路板与器件或组件之间线路的连接，其外形如图 1（b）所示，它可分为电路板焊接型和双向接线型（纯接线型）两种形式：电路板焊接型的一端做成焊脚，可直接将接线座焊接在电路板上面，另一端通过紧固螺丝钉将连接导线的接头紧固在接线孔中。这种接线座一般以 2 组接线为单元座，同一规格的产品可根据需要组合（套接）成任意组数接线的接线座。双向接线型的两端结构完全一样，均通过相应的紧固螺丝钉将连接导线（一进一出）的接头紧固在相应的接线孔中。这种接线座通常以 12 组（或更多组）接线为单元座，使用时可根据需要的组数任意切割。由于多组接线座的外形呈长条状，所以经常将这样的接线座称之为“接线排”。

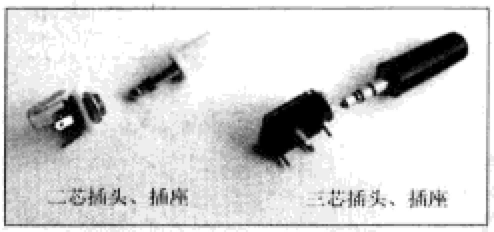
（3）音频插头、插座（孔）。这类接



（a）接线柱

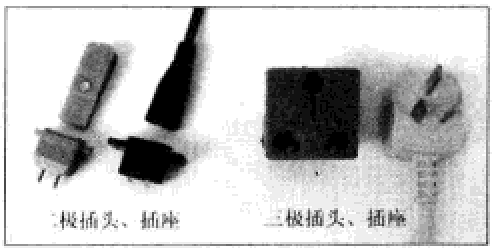


（b）接线座

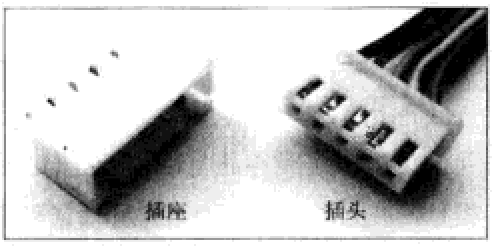


(c) 音频插头、插座

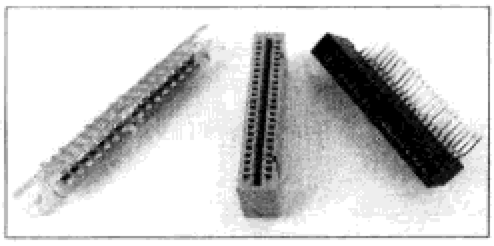
(d) 低压电源插头、插座



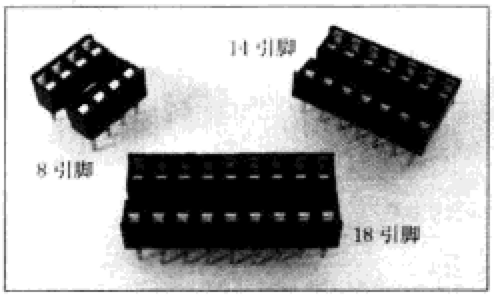
(e) 交流电源插头、插座



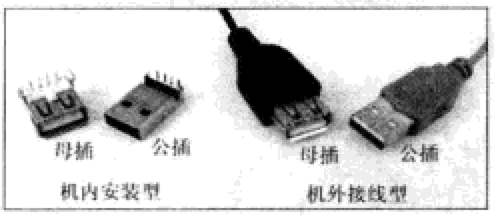
(f) 电路板专用接插件



(g) 印制电路板插座



(h) 集成电路插座



(i) USB接口

图1 常用接插件外形图

插件主要分二芯插头、插座和三芯插头、插座两种，它可以方便地实现音响设备与外部设备（如耳机、话筒等）之间的随时连接或断开，其外形如图 1（c）所示。顾名思义，二芯插头、插座能够同时接插双线连接的设备，适合于传送单路音频信号，三芯插头、插座能够同时接插三线连接的设备，适合于传送立体声（双声道）音频信号。为了实现插头插入插座后音响设备内部电信号的自动转接（比如耳机接入时机内扬声器必须自动断开），二芯插座兼有单自动开关功能，三芯插座兼有双自动开关功能，这样对应插座的接线脚数目分别为 3 和 5，使用时有信号传输和开关控制之分，不可混淆。音频插头、插座常用的规格有 2.5mm、3.5mm、6.35mm（指插头电极外直径，也就是插座口径）等，一般音响设备的话筒和耳机采用 6.35mm 的插头和插座，小型音响设备通常采用 2.5mm 或 3.5mm 的插头和插座。

（4）低压电源插头、插座。这类接插件是在音频二芯插头、插座的基础上改进而来，专门用于各种小型电子设备与配套外接电源的插接，其外形如图 1（d）所示。与音频二芯插头、插座的最大区别之处在于，该插头形状为管状，内、外侧分别作为电源的两个电极，这从根本上避免了音频二芯插头在插入插座的过程中会不可避免地产生瞬间短路（指插头两极）的现象。插座电极则与插头的管状电极相匹配，亦兼有自动开关功能，可在外接电源插头插入插座时，自动切断机内供电电源。

（5）交流电源插头、插座。这类接插件分二极电源插头、插座和三极电源插头、插座两大类，在各种电子电器设备中专门用来传输 220V 交流电，其常用的产品外形如图 1（e）所示。需要指出的是，这类接插件种类规格比较多，就机装式插座而言，有些插座为电源输出型插座，可插入普通家用电器的插头，但大多数插座为电源输入型插座，不能够插入电极外露的普通插头，只能插入与之匹配的非电极外露型插头（即输出型插头）。

（6）电路板专用接插件。这类接插件由可直接焊接在电路板上的插座和接有传输电线的插头两部分组成，它有多种规格，可分为单引线和多引线两大类，其常见的产品外形如图 1（f）所示。这类接插件的特点是使用灵活，占据面积小，插拔方便等。其结构是插头（或插座）内有接线金属片，插座（或插头）内有引线接线针。对于多引线接插件，为了防止插头插错方向，每对插头、座都有相对应的定位挡，或各电极的中心距有意设计得不同（结构呈非对称性），这样插头就只有在规定的方向上才能插入插座，如有反向或移位都不能插入插座。

（7）印制电路板插座。这种专用的插座外形如图 1（g）所示，与之匹配的“插头”实际上是应用电路板。该插座在各种仪器、仪表和计算机中被广泛采用，它有很多规格，可分单排（用于单面印制电路板）和双排（用于双面印制电路板）两大类，其引脚数目有多种，引脚间距有多种规格。这种插座上面一般都设有定位槽，有些还设有开启键和锁紧键。

（8）集成电路插座。该插座是为配合集成电路的使用而设计的，其外形如图 1（h）所示。这种专用插座除了最常见的双列直插封装形式外，还有单列直插、四列直插等多种封装形式，其具体规格与对应的集成电路相适应。实际应用时，插座直接焊接在印制电路板上，集成电路则通过其引脚直接插入插座内。这样的最大好处：在印制电路板上避免焊接集成电路，给维修和更换集成电路带来很大方便。

（9）USB 接口。USB 是英文 Universal Serial Bus 的缩写，中文含义是“通用串行总线”。常用 USB 接口的外形如图 1（i）所示，它由对口接插的公插（公口）和母插（母口）两部分组成，分机内安装型和机外接线型两种。机内安装型的引脚（通常 4 个引脚、2 个固定脚）可直接焊接在印制电路板上，机外接线型通常将焊

接好 4 芯引线的公插或母插用塑料一次性压封而成。无论是机内安装型还是机外接线型，其公插均可对口插入母插内，使用非常灵活方便。

2. 型号命名

国产接插件的型号命名并没有统一的标准，不过各厂家的命名基本上都遵循和延用了早期行业所制订的标准，其型号大致上都由四部分组成，格式和含义如图2所示。第一部分用字母表示产品类型，如“CS”表示音频插头（插塞），“CK”表示音频插座（插孔），“CT”表示电源插头，“CZ”表示电源插座，“SZ”表示集成电路专用插座、“CA”或“CZJ”、“CY”表示低频簧片式矩形接插件，“CX”表示低频圆形接插件、“CD”表示低频针孔式矩形接插件。第二部分用字母表示产品大小（有些型号省略了该字母），通常用字母“X”代表“小型”，无字母则表示非小型。第三部分用数字表示电极数目，也有一些产品用字母表示种类或安装形式，如用“D”表示电源型接插件，用“Y”表示圆型电极等。第四部分用字母和数字表示产品其他规格、种类或序号等，具体由各厂家自行规定，一般无规律可循，表现形式五花八门。

实际上，在选择和使用各种接插件时，一般并不特别强调型号（许多资料根本不说明型号），而是注重看产品的实际功能、规格和主要参数等（注：常用国产接插件的型号及性能参数可到本刊网站www.radio.com.cn上了解）。

3. 产品标识

各种接插件由于外形跟其他元器件有明显的差异，所以从外观就能一眼识别出来。一般接插件都由插头、插座两部分构成，两部分的接插电极数目是一致的，不过对于带有开关功能的插座，其引脚数要多于对应插头，使用时应分清楚各引脚的功能。如果无法观察清楚或手头无厂家提供的接线图，可借助万用表欧姆挡进行判断。

三芯带有双自动开关功能的音频插头、插座，各接线端的功能如图3（a）所示，在使用时不可混淆。值得注意的是，由于外形和构造的不同等原因，这类产品的插座尽管其功能相同，但引脚排列并不完全相同，识别时应加以注意。

具有3个电极的220V交流电源插头、插座，除了一极接相线（L）、一极接零线（N）外，剩下的非对称电极要求接地线(E）。这三个电极的接线是有规定的，如图3（b）所示。为了避免接线发生差错，插头、插座的相应电极旁边一般都标有接线符号，使用时应注意识别并正确接线。集成电路插座的各电极排序规则跟集成电路完全一致，如图3（c）所示。印制电路板插座、电路板专用接插件等，一般均在适当位置标出引脚序号，使用时应注意识别。USB接口有4个电极引脚，其中间两个电极规定传送数据（-DATA和+DATA）信号、两边的两个电极分别用于传送电源（VCC）和接通电路地端（GND），如图3（d）所示，使用时应遵循这一接线规定。

如何使用接插件

1. 简易测试方法

业余条件下，通过直观查看来衡量接插件性能良好的标准是：产品制造工艺精良、外观无机械破损、各接触电极间接插灵活并富有弹性、紧固螺丝件无滑扣现象、相邻电极间不存在短路现象等。

借助万用表的电阻挡，可以对各种接插件进行电极通断测试和接通性能、绝缘性能的检测，检测方法如图4所示。

2. 使用常识

（1）接插件种类很多，功能不一，在实际应用时应按“四步法”进行选择：其一，从实际应用出发，根据所接电路的特点和

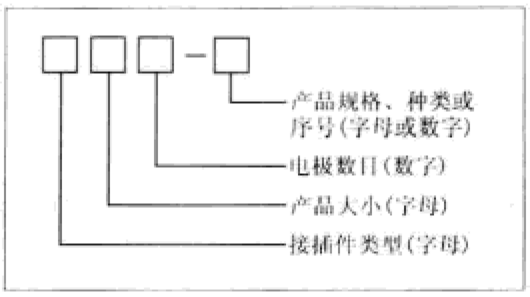
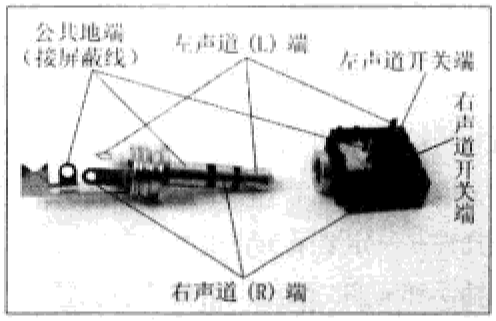
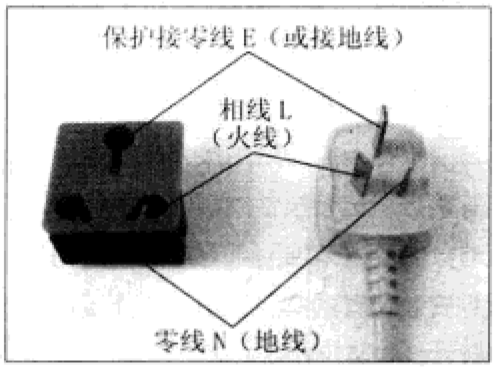


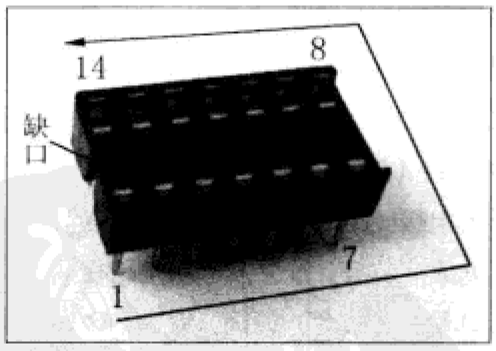
图2 国产接插件大致命名规律



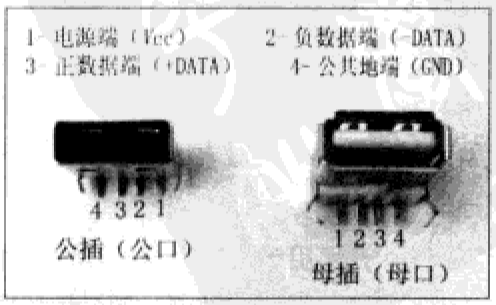
(a) 三芯带开关插头、插座



(b) 三极电源插头、插座

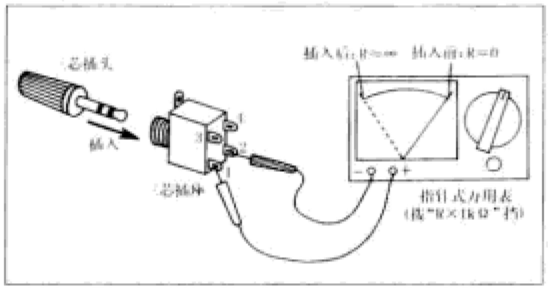


(c) 集成电路插座

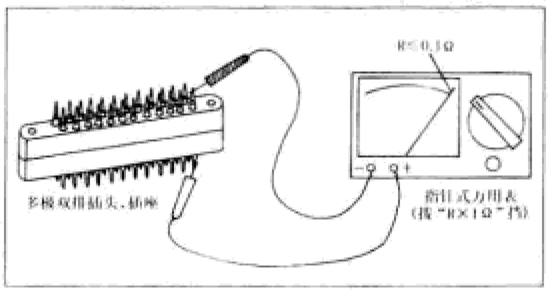


(d) USB公插、母插

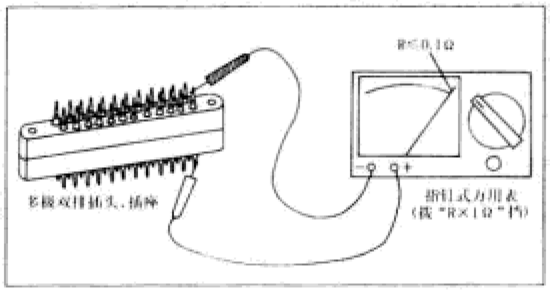
图3 常用接插件的引脚识别



(a) 测开关性能



(b) 测接触电阻



(c) 测绝缘性能

图4 接插件的检测方法

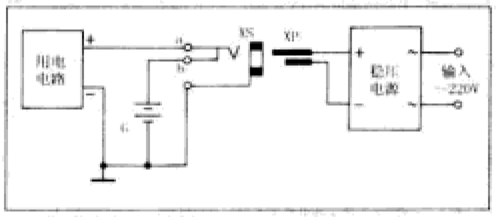
用途不同，选择合适的接插件。比如，用于小型收音机、收录机、数码播放器等的耳机放音接插件，可选用小型二芯或三芯音频插座及插头；用于低压直流外接电源的接插件，一定要采用防短路的专用低压电源插头和插座，切不可用普通的小型二芯音频插座及插头来代替。其二，根据所控电路的需要，确定接插件电极数目，要求电极数目与需求数量一致，也可稍有富余，并且考虑插座是否需要带有自动开关功能。其三，根据所控电路的最大工作电压与电流等确定所选接插件的额定电压和额定电流参数值，要求都要留有足够的余量。其四，根据安装位置的实际情况，选择接插件外形尺寸、安装尺寸及安装方式等。

(2) 选用印制电路板插座时必须注意与实际印制电路板（插头）相配合。必须考虑的规格有：插座排数（即单排和双排，后者适用于双面印制电路板插头）、插座电极数（应与印制电路板电极数相符）、插座电极间距（即相邻接触簧片间的距离）和有无定位等。此外，印制电路板插座的接触簧片有镀金、镀银、镀锡和磷铜片多种。在要求较高的场合，如果印制电路板接触点多、周围工作环境潮湿及腐蚀性气体含量大等，应优先考虑使用镀金或镀银插座；对可靠性要求不是很高的普通电路装置来讲，为了降低成本，可采用镀锡或普通磷铜片插座。

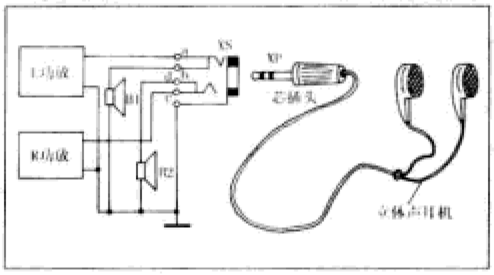
(3) 在使用电路板专用接插件、印制电路板插座、集成电路插座等多极接插件时，注意应首先断开电路电源，再进行拔插操作。对于多引线的非对称设计接插件，如果要从插座中拔出插头，要首先压下用来防止插反并起固定作用的倒扣，然后稍用力向上提起插头才能取下。当拔插不通畅时，不可强行拔插，应分析和查找原因，对症采取办法，以防止造成不必要的损坏。尤其是在使用集成电路插座时，一定要在弄清方向的前提下，再插入集成电路，要避免插反或错位，否则通电后会造成集成电路的损坏。

(4) 电子设备内部使用各种接插件的好处：一是可以简化电子产品批量生产时的装配过程。二是易于维修，并可实现快速更换某些失效的元部件。三是便于升级产品，可以随时用新的、更完善的元器件取代（免焊接）旧的元器件。四是能够使工程师们在开发和设计产品时更具灵活性，能够使爱好者在进行电子实验与制作时更具简捷性。但也不可滥用或使用质量低劣的接插件，否则会由此产生许多电路故障。值得一提的是，在安全性和可靠性要求都比较高的电路中应用接插件时，可根据实际情况将多引脚插头、插座的"接插对"引脚并联起来使用。这样，既可提高工作时的可靠性，又可降低接触电阻、增大工作电流。

(5) 使用带有自动开关功能的插座时，必须要弄清楚插座上面各接线端的作用，并正确接入应用电路。这一类型的插座在实际电路中的具体应用，可通过图6所示来说明：在图5（a）所示的外接低压供电电路中，当外接稳压电源的二芯插头XP没有插入插座XS时，插座XS的外簧片a和内簧片b接通，使机内电源G向用电电



(a) 外接电源电路



(b) 外接耳机电路

图5 带开关插座的应用实例

路供电。当外接电源插头XP插入插座XS时，外簧片a被插头弹压，使之与内簧片b脱离接触。这样，机内电源G的一端与电路的连接被切断，G停止供电，转而由插头XP两端接入的外接电源供电。

在图5（b）所示的外接立体声耳机电路中，立体声耳机的三芯插头XP没有插入插座XS时，插座XS的外簧片a和内簧片b接通、外簧片c和内簧片d接通，左声道扬声器B1和右声道扬声器B2均发声。当耳机插头XP插入插座XS时，两个外簧片a、c均被插头XP弹压，使之与相应的内簧片b、d脱离接触。这样，扬声器B1和B2的一端便和机内的左、右声道功放输出端脱开，两个扬声器停止发声，改由插头XP所接入的立体声耳机放音。

一些插座电路中不需要开关功能时，可闲置插座的开关接线端不用，即将带有自动开关功能的插座当做普通无自动开关功能的插座来使用。

◎姚宗栋

天籁之音
人类美好的追求（3）

在前2期中，我介绍了11款19世纪发明的扬声器，本期介绍气体放电式扬声器、气垫（声悬浮）式低音扬声器、球顶形高音扬声器及新技术、新材料在扬声器单元中的应用，下期将介绍“准带式平面磁驱动式”扬声器、海尔（Heil）式扬声器、压电扬声器、NXT平板扬声器等。

13. 气体放电式扬声器的发明

根据气体放电强度和方式的不同气体放电式扬声器基本上分为3种：弧光放电式、辉光放电式、电晕风式。弧光放电式因为工作于大电流、高温、高发热状态，一般很少采用。

美国通用电器公司(General Electric)于1927年1月1日、1927年2月5日分别申请了利用辉光放电发声的No.264811专利和利用电晕放电发声的No.265958专利，专利中描述了如何利用气体放电的方式来获得电声转换。

1952年1月24日美国发明家齐格弗里德·克莱因（Siegfried Klein）提出了“电学换能器”的美国No.2768246专利申请。

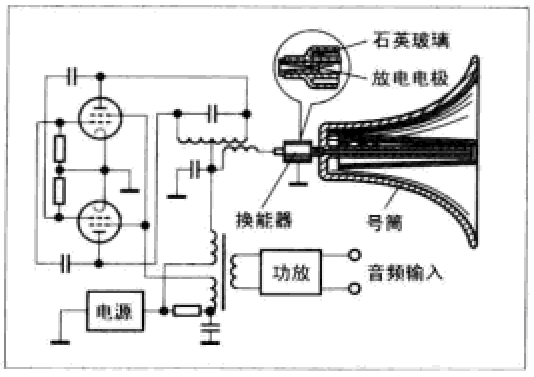


图13

提出一种利用辉光放电方式工作的扬声器（见图13）。其利用音频信号调制高频（数十兆赫兹）高压电信号，将此高频高压电信号引导到换能器部分的放电电极进行放电，放电激发空气发出声音，通过号筒传播出去。

1978年4月5日美国物理学家艾伦·尤金·希尔（Alan Eugene Hill）博士申请了No.2023373英国专利（见图14）。公布了一种火焰式扬声器，由图可以看出，其工作时主要是依靠外电路形成含有音频信息的电流信号，并通过电极施加到可燃气体燃烧形成的火焰通道上，使通过火焰的电流的大小发生相应的改变来控制火焰振动，以激发空气振动发出声音。

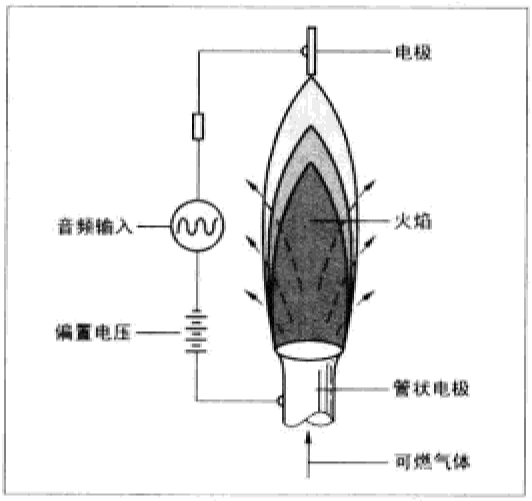


图14

空气放电式扬声器的优点是不需要固体振膜、没有机械振动部件，所以空气放电式扬声器的瞬态特性一般都非常好，高频端可以很好地响应到几百kHz；但是上述气体放电扬声器大都存在设备复杂、低频重放能力差、产生废气对环境存在污染等问题，使其较难推广应用。

14. 气垫（声悬浮）式低音扬声器和球顶形高音扬声器的发明

1956年12月25日美国发明家埃德加·维拉切尔（Edgar Villchur）采用“声悬浮（Acoustic Suspension）”技术的美国No. 2775309专利获得批准（见图15）。在此技术发明前人们发现：将低音扬声器装入小体积的音箱后，过小的音箱体积内的密闭空气会形成一个空气弹簧一样的弹性力作用于扬声器的振膜，给振膜增加了额外的弹性力，导致扬声器的实际谐振频率升高，从而导致整个音箱的低频响应变差；而声悬浮技术则是在意识到上述问题后“变害为利”，充分利用了普通密闭箱内对低频响应有负面作用的密闭空气对振

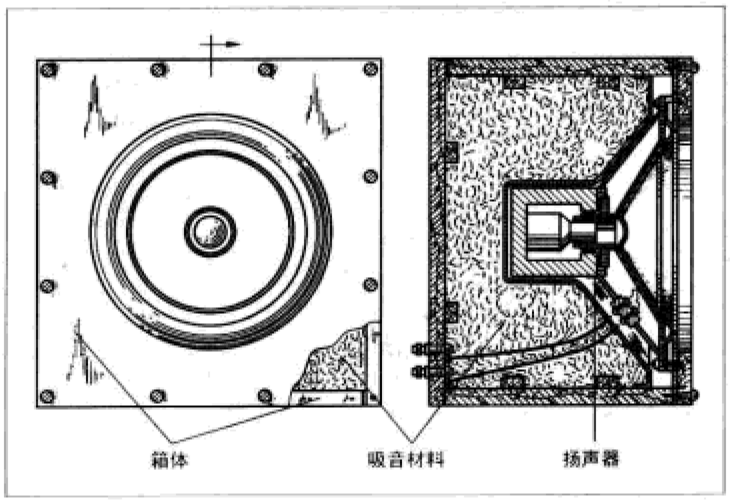


图15

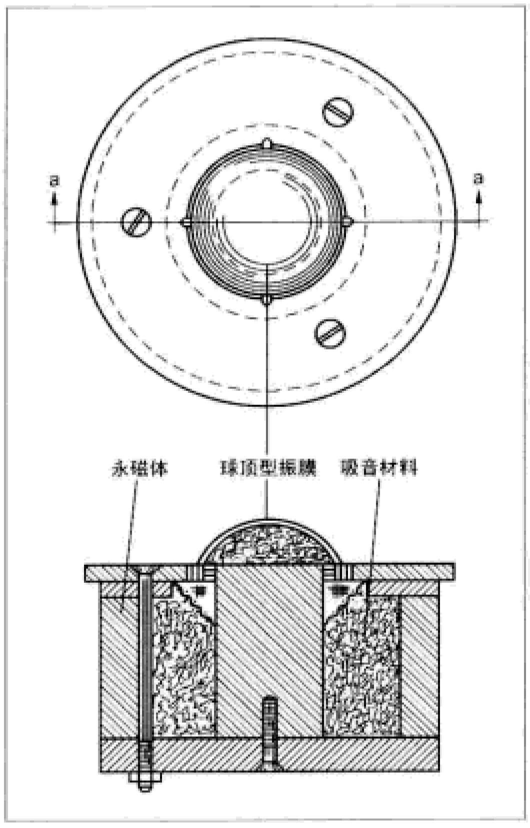


图16

膜附加的弹性力作用，把扬声器本身的谐振频率做得更低，将扬声器振膜的支撑系统的劲度降到极低的程度，以至于扬声器振膜的支撑复原作用（振膜在推动其偏离平衡位置的音圈的作用力消失时，让音圈迅速回到其不受驱动力时接近磁隙中心位置的作用）已主要由密闭音箱内被振膜压缩或扩张的空气弹力来完成，密闭箱体内像弹簧一样的空气支持着低音单元的振膜的振动，虽然扬声器装入箱体后的实际谐振频率有些上升，但因为采用了自由谐振频率更低的扬声器，仍可达到预定的设计目标。与以前的技术相比，这种技术可以提供更好的低音效果,获得深沉有力的低音，同时大大减小音箱体积。

1957年他发明的直接辐射式球顶形高音扬声器的美国专利No. 3033945（见图16）获得批准。振膜采用球顶形，可使其口径和质量都比较小，有利于改善扬声器的高频响应和指向性。今天在我们大量使用的音箱系统中，几乎每一个都采用了埃德加·维拉切尔的创新技术：声悬浮式低音扬声器和球顶型高音扬声器。

15. 新技术、新材料在扬声器单元中应用

1961年英国的哈罗德·里克（Harold Leak）发布了一种革命性的“三明治”结构形式的复合层锥盆扬声器设计，其振膜的结构分为3层，中间为接近1cm厚的非常轻的发泡聚苯乙烯泡沫层，而泡沫层的两个表面都用重量很轻，厚度很薄的铝箔片来覆盖，这种结构和材料既可以使整体的质量非常轻，又可以使其整体形状非常坚固，大大减小了锥盆在震动过程中发生的形变。

1964年1月9日美国电气工程师威廉姆·赫克特（William Hecht）申请了采用柔软的复合材料制作高音扬声器球顶型振膜的美国No.3328537专利。采用柔软材料做振膜的扬声器可以获得柔和、细腻的音质。

1979年铁磁流体开始被应用于高音和低音扬声器中。应用铁磁流体的扬声器，与传统的电动式扬声器结构基本上相同，主要区别就是铁磁流体扬声器在磁缝中加入了一定量的磁性液体。由于音圈工作时始终是在液体里，所以音圈产生的热量可以直接传给磁液，由磁液再传给磁路系统散发出去。所以铁磁流体扬声器的散热状况得到明显改善，其额定功率也就有了大幅度提高。磁性液体的存在还提高了扬声器的磁感应密度，增强了扬声器的阻尼性能，从而有效地降低频率特性曲线上的谐振峰高度，使其特性曲线更加平滑。但是它也会导致扬声器的瞬态特性在一定程度上降低。

1982年“JBL”发布了一种采用钛作为振膜的球顶压缩驱动器。采用钛作为振膜的制作材料，可以使振膜在尽量减小重量的同时保证其具有很好的刚度，使其在高频段的性能可以超过与它相比要柔软一些的铝。

1997年法国扬声器制造商“Audax”，推出了利用气凝胶为材料制作锥盆的低音和中音扬声器。气凝胶（Aerogel）是一种具有纳米量级结构的多孔材料，其中99.8%以上是空气，号称为“世界上最轻的固体”。用其作为振膜的制作材料可以使振膜同时满足质量轻、硬度高两方面的苛刻要求。

扬声器技术的发展不是孤立进行的，而是伴随着人类新材料、新技术的不断进步以及整个音频应用系统的不断发展而发展的。1982年10月1日日本SONY公司推出了第一台CD唱片播放机“CDP-101”，这标志着音频系统数字化时代的开始。“CD”这一革命性的技术的诞生，给人们提供了一种频率范围更宽、动态范围更大、失真更低的全新音频播放技术。这一技术的诞生促使与其配套的功率放大器的频响、动态、失真都有了一定程度的改善。而对于整个音频重放系统最后环节的扬声器，同样也提出了更高的要求。通过本文我们了解了扬声器技术如何诞生，又如何从幼稚一步步走向成熟。在下一期文章里，我们将一起来了解飞速发展的科学技术又将扬声器技术的发展引向何方，以及日渐成熟的扬声器技术如何才能打破现有技术的禁锢，“破茧成蝶”，获得新的突破！

短波传播的奥秘

◎R.Brown（NM7M）著　刘璞（BA7JS）编译

传播的细节

在讨论沿一定路径传播的短波信号时，我们使用的方法是直截了当的，考虑了临界频率、信号强度和存在的噪声等问题。现在，我们有必要再考虑一些细节，它们要么被忽略了，要么或许很快就会遇上。

电波的极化

首先要考虑的是电波的极化。正如大家从一个多世纪前亨利·赫兹的试验中所知的一样，电磁波具有某种极化的特征。通常我们考虑这样一种传播情况，即：当电波的磁场与电场都在波前（wavefront）的平面中，并垂直于电波前进的方向，对于通过真空或一个全向同性、同质介质的电波而言，它的两个场——电场*E*和磁场*H*，即互相垂直且为线性极化的。

最后，这个术语——线性极化，意味着电场E与一条线或一个轴平行，在它的工作频率上改变其振幅与方向，对于磁场H也是一样的。用图形来表示，在电波传播中，前进中的电波的两个场可以用箭头来表示，其长度和方向如图1所示，它们随时间和空间而变化。在这个图中，给出了这样一个瞬时的面貌，即对于一个沿着*x*方向前进，进入到图中右侧的电波，其电场*Ey*如何在*y*方向上变化，而磁场Hz如何在*z*方向上变化。

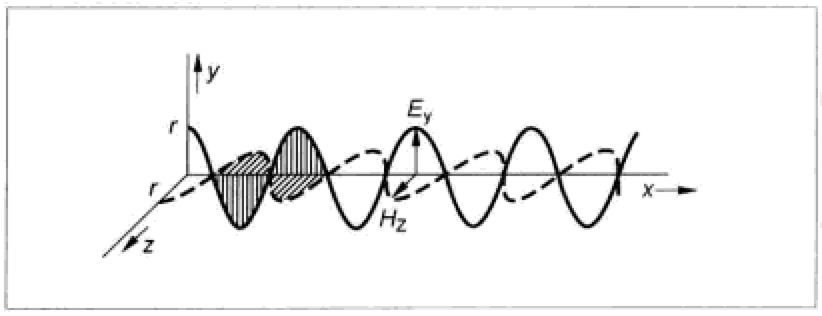


图1 平面极化的正弦电磁波的电场和磁场矢量

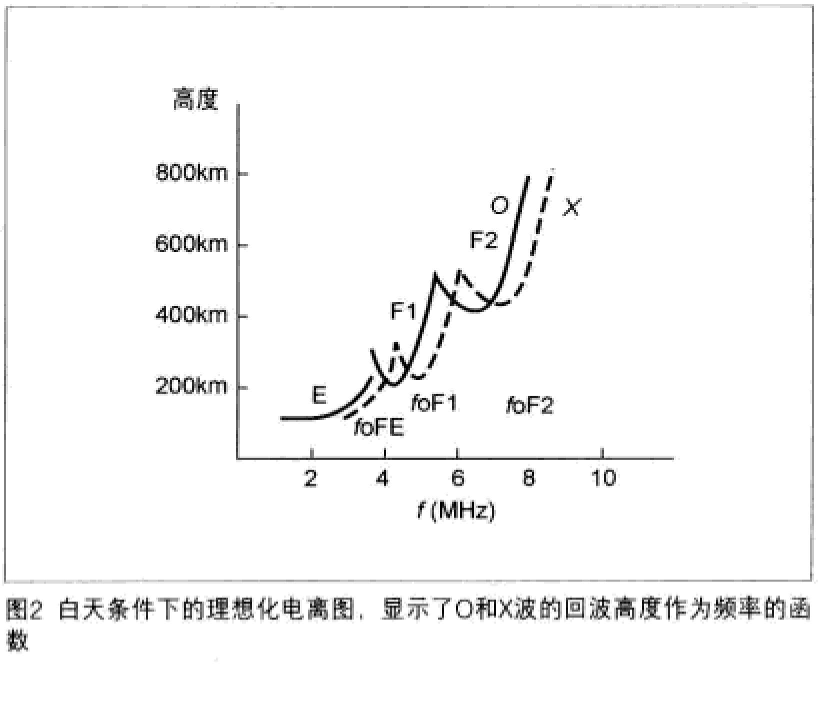


图2 白天条件下的理想化电离图，显示了O和X波的回波高度作为频率的函数

无线电波的极化取决于发射天线，至少在出发点是这样的。对于双极天线，当电波垂直于振子线进行辐射时，电场是平行于振子线的方向的。如果振子线平行于地面，这种电波被称为水平极化的。同理，如果一副天线，例如一副四分之一波长的垂直天线，它的轴是垂直于地球表面的，则发射出垂直极化的电波。就这么简单，但是并不永远是这样的。

之所以这么说，其理由要回溯到电离层探测，即20世纪20年代用于探索电离层结构和各地区临界频率的探测手段。当时的研究显示，向上发送的每次射频脉冲有两次而不是一次回波：一个称为普通回波O，对于仅包含自由电子的电离层而言，这正是所期望的，另一个特别回波X，是来自于电离层浸没在地球磁场中的结果。

这些观察来自于示波管的*X*和*Y*轴的显示，它描绘出了射频脉冲的瞬时频率。这两个回波轨迹O和X，来自于一个频率扫描，显示在图2中，是电离图的一个理想化表示。有趣的事实是，这两个轨迹被分开了一个频率值，这个值大约是本地电子旋转频率（gyro-frequency）的一半。对“小枪”信号的传播而言，这意味着X波是被F层的某处送回来的，该F层的临界频率f_{xF2}比O波的f_{oF2}高出约0.5MHz。

这些结果表明，电离层在进行双折射，就像一片云母或一个方解石晶体，在电波通过时，具有两种不同的电波极化情况。当把电磁波理论应用到这个问题上，我们会发现，O和X波是椭圆极化的，且具有相反的旋转特性。如果这还不够复杂的话，我们可以说，它们的传播特性取决于电波相对于地磁场的行进方向！

那么，在这样的情况下，“小枪”的DX活动会受到什么影响呢？在这方面，我们应当认为离开“小枪”天线的信号是水平极化的，因为“小枪”的八木天线就是这么架设的。既然已经知道“小枪”的信号将要作为O和X两种波来传播，下一步就是把电波的原始线性极化的电场E表示成两个椭圆电波的和值。

但还是简化一下吧，使用一个特殊的圆极化来代替理论显示的更为通用的椭圆极化。如果信号是沿着或者以接近于地磁场的方向传播的话，我们是可以这样做的。所以，来看图3，电波的电场E离开“小枪”的天线，沿着平行于地球表面的方向振荡着，它被表示成了两个反方向旋转的电场的和值，即圆极化的电波。

如果你停下来想一想，这两个旋转的场强矢量加起来就是来自“小枪”天线的原本的水平电场*E*，其垂直分量总是方向相反并互相抵消，而平行于原来方向的分量总是相加。于是，这个振荡的水平电场*E*被两个圆极化波所取代，围绕着它们行进的方向而（相互）反向旋转着。

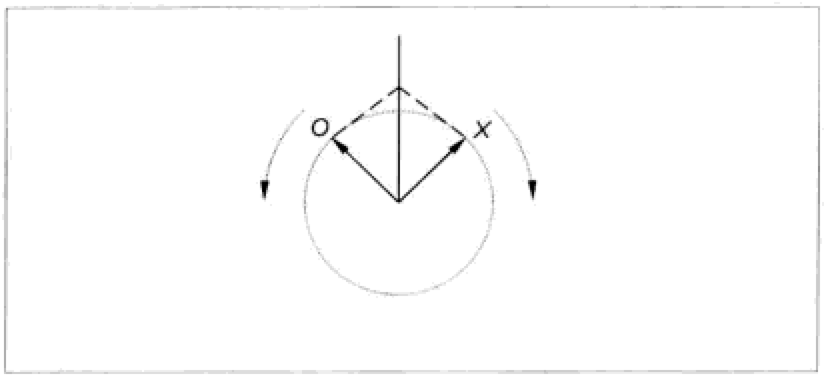


图3 一个线性极化波表述为两个圆极化波的和值，在相同频率上按相反方向旋转

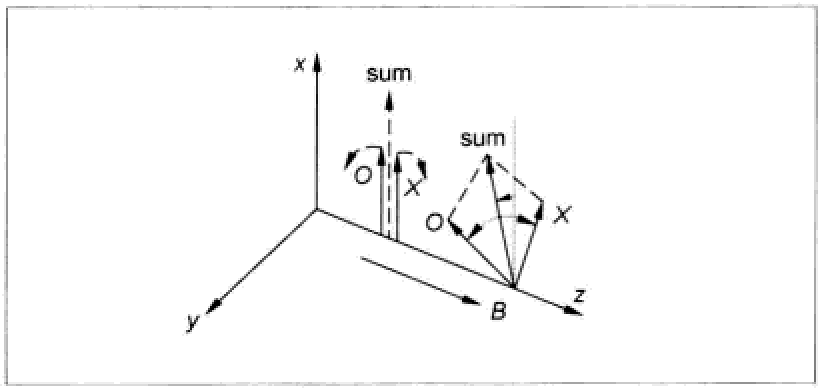


图4 极化平面的旋转，来自两个以略微不同的速度通过电离层的圆极化分量

与任何双折射的材料一样，可以预期两个圆极化的波会以略微不同的速度行进。对此最简单的描述应当是位于磁力赤道上的南-北传播。在这种情况下，理论显示，沿着磁场方向往北看时，圆极化的X波按反时针方向旋转，而O波则按顺时针方向旋转。

除了O和X波的不同旋转方向以外，理论还显示，O波比X波行进得更慢，所以这些电波在所要求的时间内到达一个给定位置时，顺时针方向旋转的O波要比逆时针方向旋转的X波相对于地磁方向上旋转得更多。如果这两个瞬时旋转的场被合并，以便在那个位置上获得等效的线性极化，如图4所示，可以看到在电波行进过程中，极化平面已经沿着传播方向旋转了一个有限的量。

对这个问题加以细究，可以发现极化平面会按一个比例旋转，即与平均磁场和沿着电波路径的柱状空间内电子的总量成正比，并与工作频率的平方成反比。这个效应被称为“法拉第旋转”，并且在极化平面相对于简单的线性极化天线发生旋转时，会产生卫星信号的法拉第衰落现象。

很明显，还有其他的电离层传播现象可以加以考察，例如垂直于地磁场的传播。但在业余无线电中是没有固定路径的，而且相对于地磁场的传播方向会不断地变化，甚至在沿着一个路径上升和下降时亦然。所以，在讨论高频传播时，极化平面的旋转这个概念是恰当的。

在业余操作中，伴随着所有不同的传播方向以及使用的路径长度，在电波传播到路径的接收端时，原有的电波极化，几乎不可能保持不变。而且，每天的电离层上层区域的高度会发生极大的改变，在地球上，这个区域在处于冬天半球处的本地时间中午达到最小高度，在夏天半球处的同样时间达到最大高度。

地面反射效应

现在，我们再来考虑另一个细节——跳跃之间的地表反射，即地面反射效应。假定反射表面是平滑的，并具有电气导电性和介电常数。我们可以使用电磁场理论中的菲涅尔公式来找到反射效率，即不同的工作频率、极化以及入射角度时，被反射的电场*E*与作用于地表的电场强度之比。图5显示了对于典型的地表物质和两种极化情况下，14MHz上的反射效率是如何随着辐射角度的变化而变化的。

图5中引人注目的特点是垂直极化的行为，其反射效率在26°左右有一个最小值。这个角度称为伪布鲁斯特角，得名于光学学科中一个纯介质的布鲁斯特反射角，其垂直极化时反射效率实际为零。在这种情况下，通过这个布鲁斯特角反射，未极化的光线变为水平极化。

如果无线电波被认为是未极化的，和上述假设的一样，你可

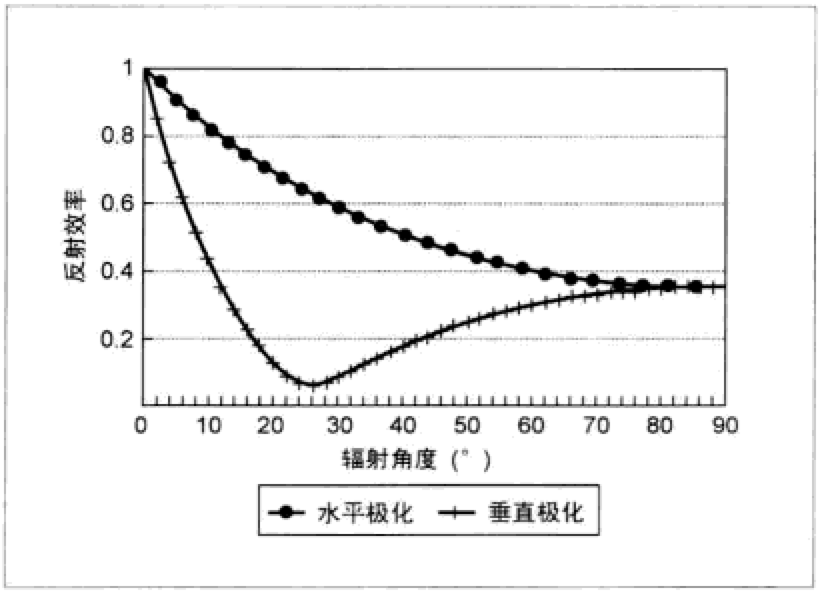


图5 在水平和垂直两种极化中，典型地表在14MHz上的反射效率与地平线夹角的函数关系

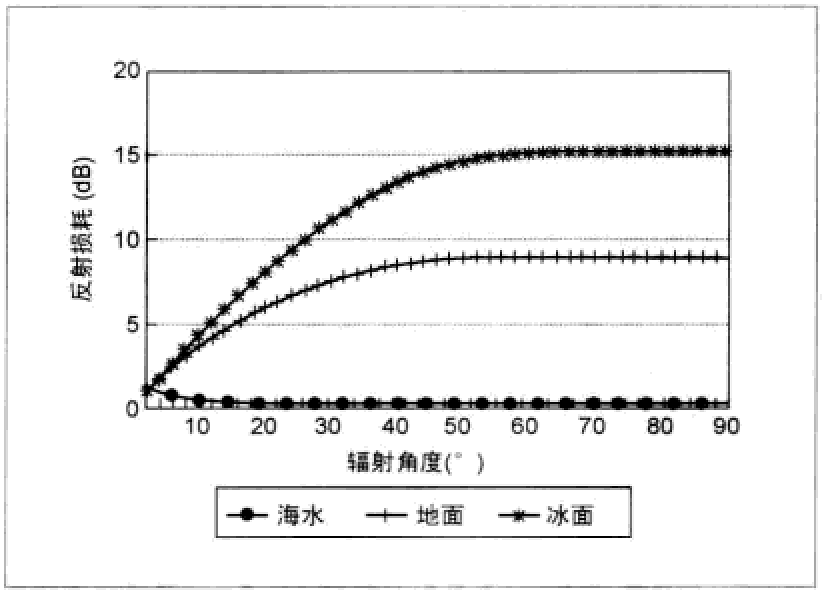


图6 在3种不同的表面上，14MHz上的反射损耗与地平线夹角的函数关系

以通过对水平的和垂直的极化波的反射强度损失进行平均，来计算地面反射的强度损失。由于地球拥有广大的海洋和冰盖以及大陆，你需要考虑路径中哪里会发生反射，并将所产生的地面损耗包括在内。对于这三种表面——冰盖、大地和海水——在14MHz上的密度损失如图6所示。从图6中可以看到，海洋反射导致的损耗是多么地小，而冰盖反射损耗很高。除了这些结果之外，计算显示随频率还会有一个地表损失的微小变化，对于各种（地表）物质，在7MHz略低，而在21MHz更高。

应当记住，反射表面不总是光滑的或平行于本地的地平线的。虽然来自一个平面的反射角度总是等于作用于其上的电波入射角度，但是往外发出的电波的辐射角度取决于该表面的倾角。当反射表面的尺寸或范围相当于多个波长时，这显得很重要。如果该表面规律性的变化很小，那么反射过程本质上是个漫反射，而不是通常认为的镜面反射。这将导致对过来信号的更多分散，这是要考虑的附加损耗，在一次反射后，每当一个射线路径再进入电离层后都要考虑。

我们已经指出了可以期望来自电离层折射的一些聚焦增益，这是因为来自F层的凹透镜特性的射线收敛。同样地，也要预计到一些反聚焦损耗，这是因为来自地球表面的凸透镜特性的射线发散。这些效应会在一个具有数次跳跃的路径上产生一点点增益，例如1dB左右，因为沿着一个有*N*次跳跃的路径上电离层折射的次数，要超过地表反射的次数（*N*-1）一次。

信号的衰落

无论一个路径上有多少次跳跃，最后要考虑的一点是——衰落及其起因。当你在怀疑取得通联后该联络是否还能维持时，这个问题就会冒出来，简而言之，就是一个可靠性的问题。在这个方面，存在衰落和信号消失，后者为信号降低到噪声水平以下。你可以应付前者，但是当信号消失时，路径开始关闭，可能跌落超过3个S单位。所以，一个路径是否可靠取决于对信噪比的最乐观估计，以及它是否能承受一个18dB左右的降幅，信号依然在可读的范围之内。

衰落其实源自于电离层中较高的那部分，即沿着一个路径影响传播的折射区域的运动。于是，F层的升高可能改变射线路径，以至于围绕发射机的跳过区域突然增加了，这使得接收机位于跳过区域之内。这种情况多属于传播失效，该路径对所工作的频率不开放，导致所谓的“MUF衰落”，即该路径的最大可用频率落于正在使用的发射频率之下。

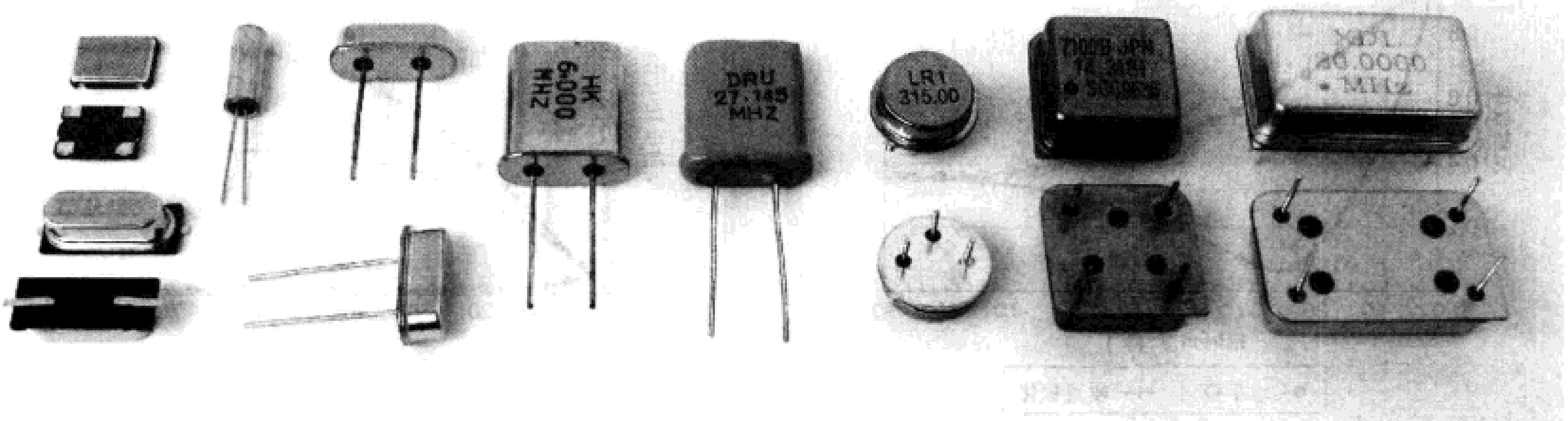
当然，硬币总有另外一面。射线路径的移动把接收机置于距离某处更近或者更远的距离上，而该处可以从跳跃聚焦中获得益处。这仍然是衰落，信号强度时起时落，但不会像跳跃衰落那样致命。

另一种形式的衰落产生于电波极性的变化。如果沿着一个路径的电子总量出于任何原因而改变的话，就会在接收天线发生极化平面的改变，并伴随着信号强度的相应改变。这种衰落甚至在单一跳跃的路径上也观测得到。当然，如果天线同时具有水平和垂直极化以及接收机具有可在两者之间快速切换的能力，则可将这种衰落减低至最小。应当注意的是，这种技巧一般局限于简单的天线，比如，双极天线和四分之一波长或半波长的垂直天线。

到此为止，关于“小枪”短波信号传播的基本要素、高频传播的概貌我们已经讨论过了。今后，我们还需要了解，随着跳跃的结构和传播的环境越来越复杂，有些特性会变得越来越重要。

常用元器件的识别与使用（25）

◎张晓东



稳定性极高的石英晶振

石英晶振（英文名称Crystal）简称晶振，严格来讲，它应该是石英晶体谐振器和石英晶体时钟振荡器的统称，不过由于在消费类电子产品中石英晶体谐振器的应用更多，所以一般的概念中已经把晶振等同于谐振器理解了。石英晶振是一种利用石英晶片的压电特性制作而成的电谐振元件，在电路中常用于稳定频率和选择频率。石英晶振的突出优点在于，用它所构成的振荡器的频率十分准确且稳定，是目前其他类型的振荡器所不能替代的。

作为一种线性、无源被动元器件，石英晶振在无线电话、载波通信、广播电视、卫星通信、无线遥控装置、数字仪表、计算机、家电单片机和电子钟表等设备中得到了广泛的应用。下面向初学者介绍常用的石英晶振（即石英晶体谐振器）的识别与使用方法。

如何识别石英晶振

1. 结构及特点

常见金属外壳石英晶振的内部结构如图1所示。从一块石英晶体（二氧化硅的结晶体）上按一定方位角切得薄晶片（可以是正方形、矩形或圆形等），在晶片的两个对应表面上涂敷上银层、引出一对电极，再将晶片部分密封在金属（或塑料、玻璃、陶瓷）外壳内，就构成了一个普通石英晶振。

石英晶振之所以能作为谐振器，是基于它具有的“压电效应”特性。若在石英晶振的两个电极间加上一定电压，石英晶片的两个银层面间就会形成电场，晶片就会产生机械变形。反之，若在晶片两侧施加上机械压力，则在晶片相应的方向上会产生电场，这种现象称为压电效应。如在石英晶振两电极间所加的是交变电压，石英晶片就会产生机械变形振动，同时机械变形振动又会产生交变电场。一般来说，这种机械振动的振幅比较小，但其振动频率却很稳定。当外加交变电压的频率与晶片的固有频率（取决于晶片切割方式、几何形状、尺寸等）相同时，机械振动的幅度将急剧增加，这种现象称为压电谐振，它与LC回路的谐振现象十分相似。

石英晶振的特点是具有很高的品质因数（*Q*值），它有串联和并联两种基本谐振现象，可构成灵活多样的振荡电路。由石英晶振组成的振荡器与普通LC回路构成的振荡器相比较，其最大特点是频率稳定度极高。石英晶振的*Q*值高达10^4~10^6，其振荡频率几乎取决于晶片尺寸，稳定度可达10^{-6}~10^{-8}，一些产品甚至高达10^{-10}~10^{-11}。而最好的LC振荡电路的*Q*值只能达到几百，振荡频率的稳定度也只能达到10^{-5}。可见，石英晶振的稳定性是LC回路等所不能相比的。

2. 外形和种类

常用石英晶振按外形不同，可分为图2（a）所示几种，按外壳封装材料不同，可分为图2（b）所示的两种（另有玻璃外壳和陶瓷外壳，不过很少见到）；按引

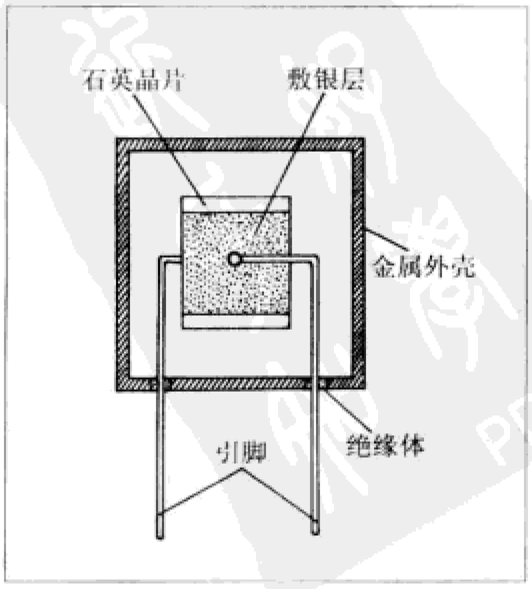
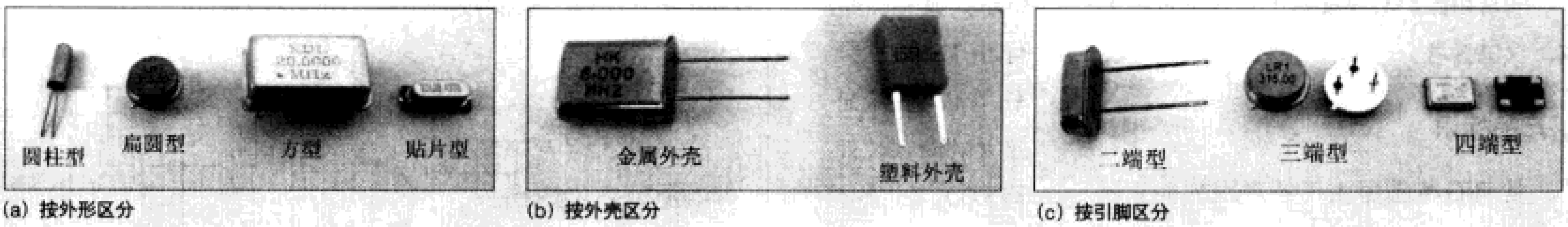


图1 石英晶振的基本结构



(a) 按外形区分　(b) 按外壳区分　(c) 按引脚区分

图2 常用石英晶振的分类

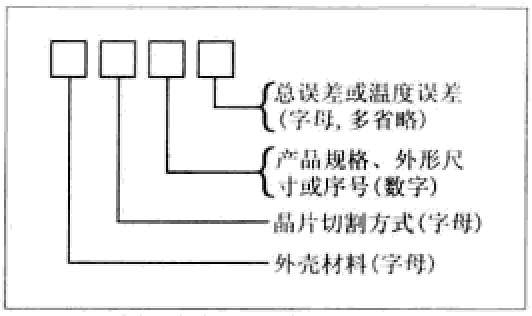


图3 国产石英晶振的命名规则

脚电极数目区分，有图2（c）所示的二端型（普通石英晶振）和三端型（组合有两个电容器的石英晶振或增加了一条金属外壳引脚的石英晶振）、四端型（外形与有源石英晶体振荡器相同、但其中两个引脚空悬着的无源石英谐振器）等几种。

如果按照用途来区分，有通用型石英晶振、时钟脉冲用石英晶振、微处理器用石英晶振和钟表用石英晶振等几种，如果按频率精度和稳定度来划分，有普通型、中精度型和高精度型3种，其频率稳定度分别可达10^{-5}、10^{-6}、10^{-8}。高精度石英晶振的壳内多带有恒温槽，能够进行温度补偿，如国产BA12型高精度石英晶振的频率稳定度高达10^{-11}，可用于产生基准频率或标准时间。

3. 主要参数

反映石英晶振产品性能的主要参数有标称频率、调整频差、总频差、温度频差、老化率、负载电容、负载谐振电阻、激励电平等。

4. 型号命名

国产石英晶振的型号一般由三部分组成，其格式和含义如图3所示。第一部分用字母表示外壳材料，如“J”表示金属壳，“S”表示塑料壳，“C”表示陶瓷壳，“B”表示玻璃壳。第二部分用字母表示石英晶片切割方向，如“A”表示AT切割、“B”表示BT切割、“C”表示CT切割、“D”表示DT切割、“E”表示ET切割、“F”表示FT切割、“H”表示HT切割、“U”表示WX切割……第三部分用数字表示产品的主要技术指标及外形尺寸等，如用“1”表示圆形外壳，用“5”或“8”表示矩形外壳。例如，JA5表示产品为AT切割矩形金属壳谐振晶体；JF6.000为FT切割方式、金属外壳、谐振频率为6MHz 的谐振晶体（可用在单片机时钟电路中）；JA18A为AT切割方式、金属外壳、硬脚谐振晶体（频率4.43MHz的可用于彩电中）。还有的石英晶振在型号的最后缀上字母，表示产品的总误差或温度误差，如JA94A、JA96A型等。

实际上，许多厂家生产的石英晶振，其型号命名规则是各自制订的，而且从产品的型号上是无法看出它的主要参数的。通常除了标称频率一般都标识在产品外壳上以外，其他具体参数就只能通过查阅产品手册或厂家说明书才能获得。表1给出

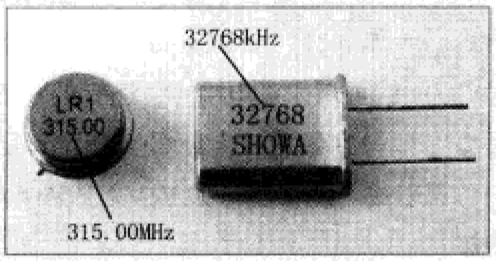
表1 几种国产石英晶振的性能参数

型号	标称频率(kHz)	调整频差($\times10^{-6}$)	负载电容(pF)	激励电平(mW)	谐振电阻(Ω)	工作温度(℃)	用途
JA12	200~500	±200		2		-10~70	家电遥控器等
JA22			14、12、18、20	4	≤90		
JA18A	4433.619		12			-10~60	彩色电视接收机专用
JA18B			∞		≤70		
JA24			14、12、18、20、30	1	≤60		
JA18C	8867.238		20				
JA40			30		≤80		
JA42	4194.304		10、12、18、20	1或2	≤100	-10~60	石英电子钟专用
JA44	26~30 MHz	±50	∞		≤40		
JA44A	三次泛音		20	2	≤50	-10~50	通用型
JA44B	49~50 MHz	±30	∞		≤40		
JA44C	三次泛音		20		≤50		
JA1(308)	32.768		8、10、12	1	30k	-10~60	石英电子手表专用
JA2(206)			5、15、20		40k		
JU1(308)	32.768	±20、±30、±50	8、10、12.5、15、20	<1	≤30	-10~60	石英电子钟表等
JU2(206)		±30、±50			≤50		
JA45	80~200	±200		2		-10~70	普通低频振荡电路

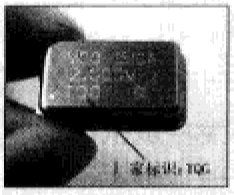
了一些常用国产石英晶振的型号及性能参数，仅供参考。

5. 产品标识

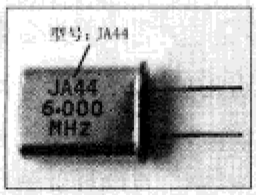
常用石英晶振由于外形跟其他元器件有着较为明显的差别，所以看外观大体上就能一眼识别出来。石英晶振的外壳上一般都会标出标称频率，如图4（a）所示。其中，带有小数点的频率单位为兆赫兹（MHz），如315.00、27.145等。不带小数点的频率单位为千赫兹（kHz），并且在数字后一般多标有字母K，如32768、455K等。



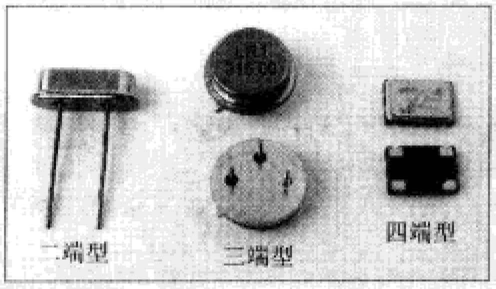
（a）看频率



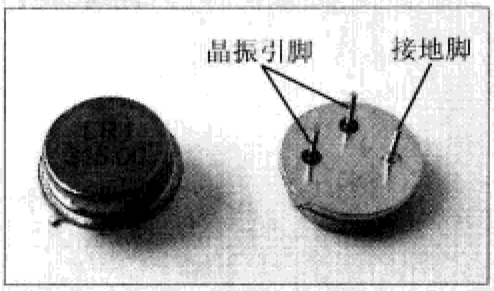
（b）看厂商



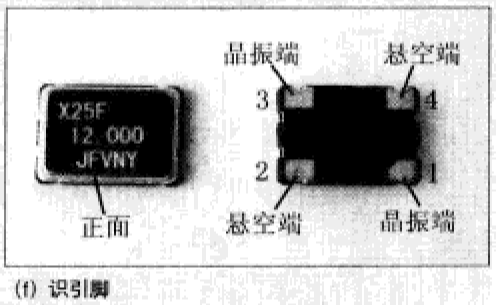
（c）看型号



（d）看引脚



（e）辨地线



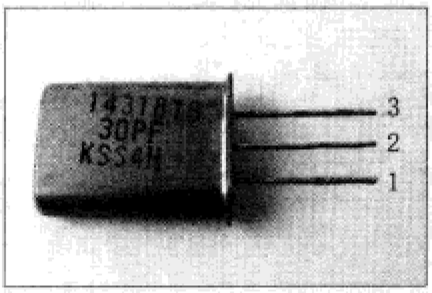
（f）识引脚

图4 石英晶振的识别方法

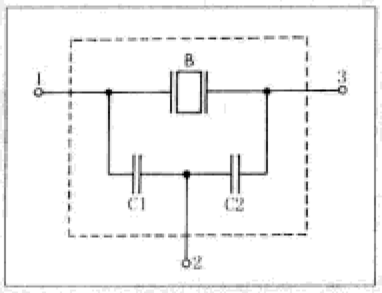
石英晶振的频率数字下方或上方有字母标号时，一般为厂商的标记。如图4（b）中的“TQG”代表TQG公司。体积较大的石英晶振，在外壳上面还标出了产品型号，如图4（c）所示。

根据引脚数量，可确定出二端型、三端型和四端型石英晶振，如图4（d）所示。对于普通二端型产品，其两个引脚无极性之分。多端产品的引脚排列没有统一规定，应查阅产品手册或厂家说明书进行区分。有些二端型石英晶振的金属外壳专门引出了一根接地线，如图4（e）所示，使得产品引脚总数达到3脚。贴片式二端型石英晶振（即石英晶体谐振器）分为2脚和4脚，一般4脚贴片的对脚为有效脚，如图4（f）所示，剩下的两对悬空脚（相通）可以作为接地、也可以悬空不用。

常见石英晶振都是两只引脚，但也有3引脚和4引脚的石英晶振。由于在许多集成电路振荡端子外围电路中总是以一个晶振（或其他谐振元件）和两个电容器构成回路（参见图1所示），为便于简化电路，有关厂家就将这两个电容器直接封装在晶振内部，生产出了三端石英晶振组件，其外形和内部构成如图5所示。通常3个引脚中的中间一脚为两个电容器的公共端，另两脚为晶振端（即两电容器各自与晶振一端连接的引脚）。这种组合件可用一个普通相同频率的晶振和两个10～220pF的瓷介电容器按常规连接后代换。



（a）实物外形图



（b）内部接线图

图5 三端石英晶振组件

四端石英晶振多为石英晶体振荡器（英文名称Oscillator），它实际上是一种内含完整振荡电路的集成模块化产品，并且有些产品还增加了一些辅助功能，使其具有精密控制等功能。这类产品属于有源器件，只要给它接通直流电源，内部电路就会产生并输出所需要的振荡信号，其系列产品有普通晶体振荡器（简称SPXO）、电压控制式晶体振荡器（简称VCXO）、温度补偿式晶体振荡器（简称TCXO）、恒温控制式晶体振荡器（简称OCXO），目前新开发的还有数字补偿式晶体振荡器（MCXO或DTCXO、DCXO）等。

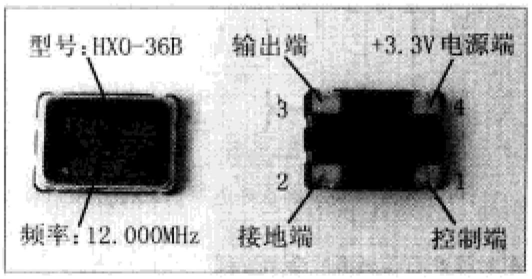


图6 四端石英晶体振荡器

显然，两端的石英晶体谐振器和四端的石英晶体振荡器是两类不同的器件，其区别在于石英晶体谐振器是一个无源元器件，本身不能产生振荡信号，必须配合外电路才能产生振荡信号。而石英晶体振荡器是一个完整的振荡电路组件，可直接产生并输出振荡信号。

图6所示是一种贴片式石英晶体振荡器的外形及引脚排列图，外电路通过对控制端的作用，可控制输出频率按规律偏移或调制，其4个引脚的名称分别是：控制端、输出端、电源端和接地端。

石英晶振使用常识

◎张爱迪

石英晶振的用途很广，它可用在各种数字电路中，与其他元器件配合产生标准的脉冲信号；它可用在微处理器中，产生所需要的时钟信号；它还可以用在钟表电路、无线电通信和遥控电路中……本文介绍一些使用石英晶振所必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能。

业余条件下，通过直观查看来衡量石英晶振品质的标准是：外观应很整洁、无裂缝、引脚牢固可靠。除此以外，借助万用表可检测石英晶振内部电极的通断，借助自制的简单鉴别器，可对石英晶振的工作好坏进行快速判别。下面介绍具体方法：

◆ 判断是否短路。按照图1（a）所示，将普通万用表（如MF50型）拨至“R×10kΩ”或“R×1kΩ”电阻挡，红、黑表笔不分极性接所测石英晶振的一对引脚，正常时万用表指针应不动（即电阻值为无穷大）。若测得的石英晶振阻值不为无穷大或阻值为零，则表明该石英晶振内部存在漏电或发生了短路故障。

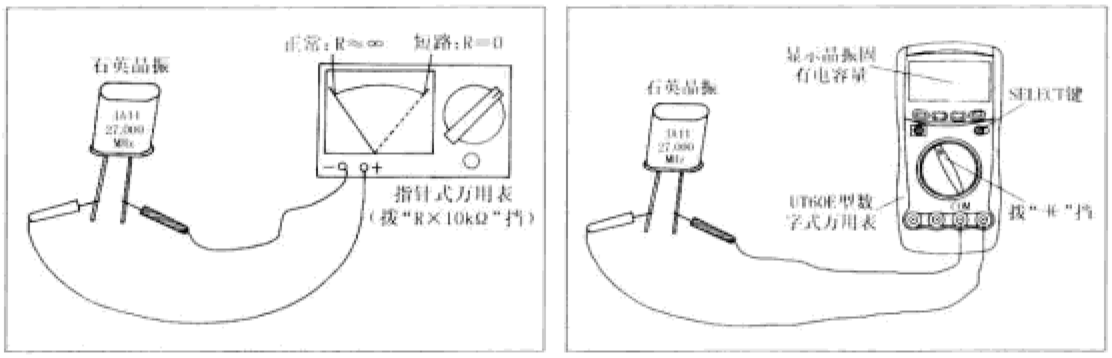
◆ 判断是否开路。上面的检测方法只能判断石英晶振内部是否存在短路故障，对于内部存在开路故障是无法判断的。为此，可用具有电容测量功能的数字万用表（如UT60E或DT889、VC9208、ET-1700型等）测量石英晶振的电容量。因为正常的石英晶振均存在着固有的电容量，而内部已经开路的石英晶振是几乎测量不出电容量的。显然，如果测得的石英晶振容量与厂家所提供的容量相差过大，则可确定被测的石英晶振内部已发生了开路故障。

图1（b）给出了用UT60E型数字万用表测量的具体方法：首先，将红表笔插入万用表面板上的“Hz/V/Ω”插孔，黑表笔插入“COM插孔”；然后，将功能量程开关置于电容量测量挡“⊣⊢”，并按动“SELECT键”进入电容测量功能“nF”项，最后，将红、黑表笔不分极性接所测石英晶振的一对引脚，则可从万用表显示屏上直接读出石英晶振的电容量大小。如果显示电容量远小于同一型号产品的正常电容量，或几乎测不出电容量，则说明被测石英晶振内部已经断路。例如，家电产品所用红外线遥控器中常用的445kHz石英晶振的电容值为296～310pF，当测量数字远小于该数值时，就说明被测石英晶振内部已开路损坏。如果万用表显示屏显示“OL”，则说明被测石英晶振内部已发生短路故障。

◆ 检测性能好坏。将10kHz～100MHz的石英晶振接入图1（c）所示的石英晶振快速鉴别器电路中，如果发光二极管VD2亮，说明被测石英晶振性能良好；如果VD2不亮，则说明被测石英晶振已损坏。使用这个石英晶振快速鉴别器来批量检测石英晶振，既快又方便！

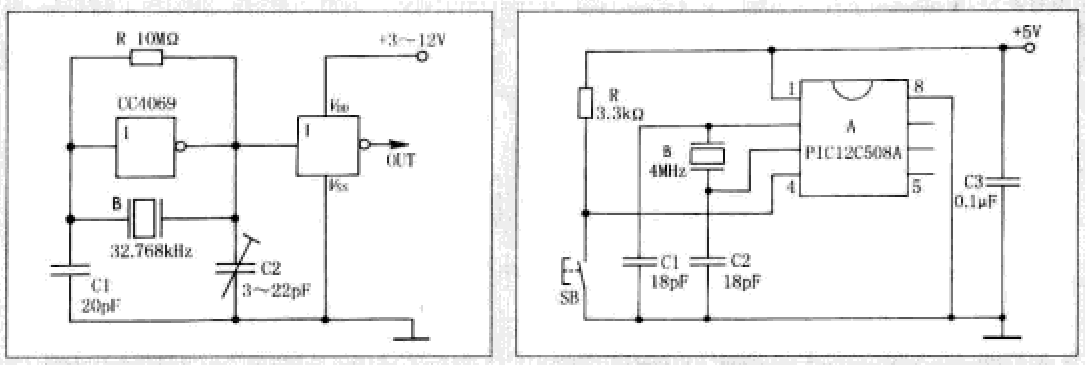
这个小小鉴别器仅由10个普通电子元器件组成，其原理是：被测石英晶振与晶体三极管VT等组成多谐振荡器，振荡信号经电容器C3、晶体二极管VD1和发光二极管VD2构成的倍压整流电路整流后，直接驱动发光二极管VD2发光。整个电路可焊装在一个小塑料香皂盒内。制作时，石英晶振的引脚插孔X1、X2，可用φ0.4～0.6mm的裸铜丝在大头针上面密绕十几圈，然后脱胎而成。VD2宜选用高亮度红色发光二极管。G可用9V叠层干电池。

1. 石英晶振品种很多，在实际应用时应首先按照电路的要求，选择好石英晶振的标称频率、负载电容、激励电平等主



（a）判断是否短路　（b）判断是否开路　（c）检测性能好坏

图1 石英晶振的检测方法



（a）在振荡器中的应用　（b）在单片机中的应用

图2 石英晶振应用实例

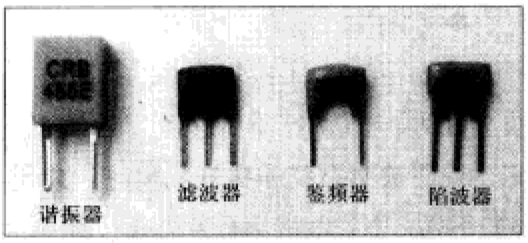


图3 几种陶瓷元件的实物外形

附表　使用不同晶振时遥控器的发射频率

遥控器晶振（kHz）	发射频率（kHz）	说明
455	38	两者频率相差12倍，发射频率与接收头频率允许误差≤1kHz。
429	36	
432	36	
445	37	
465	39	
480	40	

要电参数，然后根据谐振电路的稳定频率及精确程度等要求，确定选用普通型还是精密型、甚至是特殊型的石英晶振。当然了，在使用石英晶振之前还应对其进行必要的检测，以判断它是否能用。

一些标称频率的石英晶振应用很普遍，初学者应熟记它们：

◆ 11.0592MHz 石英晶振在单片机编程器、实验板、学习板、仿真板上经常用到；

◆ 7.6000MHz石英晶振是数字显示收音机、立体声无线发射集成电路BH1415、BH1417等指定使用的晶振，无线MP3音频发射器基本上都采用了这种频率的晶振；

◆ 49.860MHz石英晶振常用于无线对讲机、无线话筒等，其2倍频为99.72MHz，刚好落在FM调频收音机波段的中间；

◆ 32.768kHz石英晶振可能是世界上产量最多的晶振了，这种晶振通过简单的分频可以得到精确的秒信号，许多电子钟表都采用这种频率的晶振；

◆ 315MHz石英晶振在各种无线遥控模块和遥控器电路中应用很广泛。

2. 常用石英晶振实际上是一个谐振器，其本身不具备振荡能力，必须借助外电路才能产生振荡。由于石英晶振的Q值很高、频率稳定性非常好，在剧烈变化的环境下也能稳定工作，所以石英晶振被广泛应用于各种电子设备中，作为标准频率源或脉冲信号源的谐振回路，以获得高质量的基准频率。图2（a）所示为一石英晶振构成的振荡电路，图2（b）所示为石英晶振在单片机中的典型应用电路。

3. 负载电容是石英晶体谐振器的一个重要参数，其具体数值由厂家提供。在实际应用电路中，选择与负载电容值相等且跨接在晶振两端的有效外界电容，才能获得晶振标称的谐振频率。

例如，某石英晶振的负载电容为12pF，把它接入一个反相放大器（注意，不是反相器）的两端组成振荡电路时，一般都会有两个电容器分别接到石英晶振的两端，而每个电容器的另一端均接地（参见图1中的C1和C2），这两个电容器串联后的容量值就应该等于负载电容。考虑进去集成电路引脚间的等效杂散电容，则这两个电容器容量各选择20pF就比较合理。显然，石英晶振负载电容＝有效外界电容＝振荡回路中的电容+杂散电容。将其中一个外接电容器选择成微调电容器，通过调整实际的“负载电容”，一般可以将振荡电路的工作频率调整到标称值。

4. 石英晶振在使用时要保证良好的直流供电，避免浪涌脉冲的影响。在接入电路时，石英晶振和外接负载电容的引线均应短而粗，这样不但可以减少电路损耗，而且还能防止混入干扰源，而影响振荡器的正常工作。在使用金属外壳的石英晶振时，将金属外壳接地并固定在电路板上，可有效减少来自外界的干扰。在使用高精度石英晶振时，为了保证处于合适的工作温度范围，可考虑在电路中采取合适的恒温措施。石英晶振在电路中出现故障后，所表现出来的现象有：频率不稳定、频点偏移、损耗增加等。这时，只能通过更换一个完全相同的新石英晶振，才能排除故障。

5. 石英晶振损坏后，通常都应用相同型号的新品更换，其后缀字母也要尽量一致，否则很可能无法正常工作或使工作性能变差。不过对于一些要求不高的电路，可以用频率相近的新品进行代换。例如，常见家电遥控器中，455kHz的晶振损坏后，可以用收音机中常用的450kHz的晶振进行替换，一般对使用效果无影响，只是此时发射的载波频率稍有偏差（≤0.5kHz），这远小于接收头允许发射频率出现≤1kHz误差的要求（参见附表），接收头可正常接收来自遥控器的载波信号，并对其进行解码处理。

但需要注意的是，一些石英晶振的标称频率尽管相同，但其负载电容不相同，这样的产品有时不能贸然互换，否则会造成电路工作不正常。另外，必须选用正规厂家生产的产品，以防止出现质量问题。

6. 电子爱好者经常会碰到一种电路符号跟石英晶振完全相同、功能有时也差

多见者博 多闻者智

——《电声技术译丛》序言

◎ 王以真

人民邮电出版社策划、组织出版了一套《电声技术译丛》，第一批有4本译作。这是一件为中国电声界造福的好事。

中国已是一个电声大国，正在向电声强国迈进。改革开放三十多年以来，中国大门打开，我们看到了世界各国最优秀的电声产品、制造设备、测试仪器和手段、标准与新理念……外国产品走进来，中国人走出去。我们打开了眼界、开拓了思路，使我们的硬实力产生了跳跃式的发展。但是我们的软实力还不够强，我们对电声理论研究的投入很少，成果就更少。

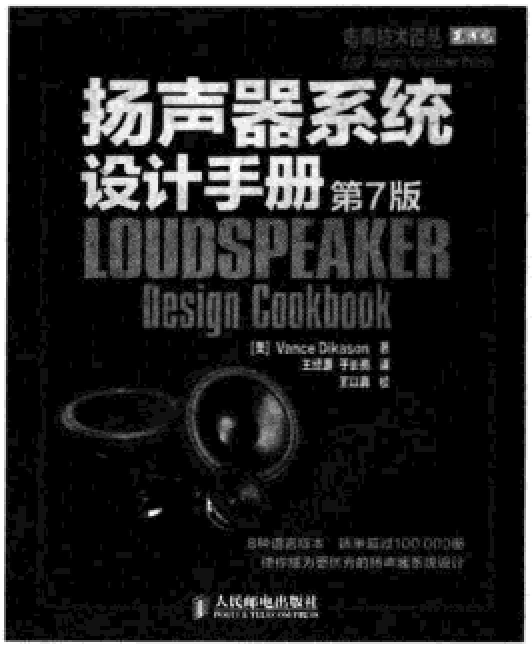
追赶世界电声技术先进水平，扩充、提高中国电声的软实力，这光荣而艰巨的任务，落在中国电声技术人员及相关人员的肩上。

一名优秀的电声技术人员，应该是一个学习型的人才。对电声新技术、新发展要时刻关注，充满好奇心与求知欲，使自己的能力与时俱进，使你的技术水平的提高速度高于产品的发展速度。这需要决心、耐心与热心，要有责任感和使命感。

国外电声方面出版的书籍本来不多，国内技术人员也不大容易见到。而翻译出版的更是凤毛麟角。希望这套《电声技术译丛》能在提高中国电声软实力方面起到一定作用。

古人讲：“多见者博、多闻者智”。这也是本丛书出版者、译者的希望。

《扬声器系统设计手册（第7版）》(Loudspeaker Design Cookbook 7th) 是该系列中的一本。该书细致地描述了扬声器系统的方方面面，可谓是这方面的百科全书。它向读者介绍了各种高性能扬声器的制作方法，图文并茂，帮助读者看到不同设计方法的效果。最有吸引力的一点是，书中介绍的扬声器设计方法可以帮助读者省钱。目前此书在全球已被翻译成7种文字，累计发行量过10万。



作者简介：

Vance Dikason是美国扬声器设计师和电声专业作家，同时为众多扬声器厂商提供咨询服务。他是《Voice coil》杂志的编辑、《Speaker Builder》杂志的特约编辑，以及1992年和1994年AES测试与测量分会主席。他于1978年开始出版的《Loudspeaker Cookbook》目前已出到第7版，并以英语、德语、法语、荷兰语、意大利语和葡萄牙语等多种语言出版，在电声专业人员和爱好者群体中受到广泛好评。

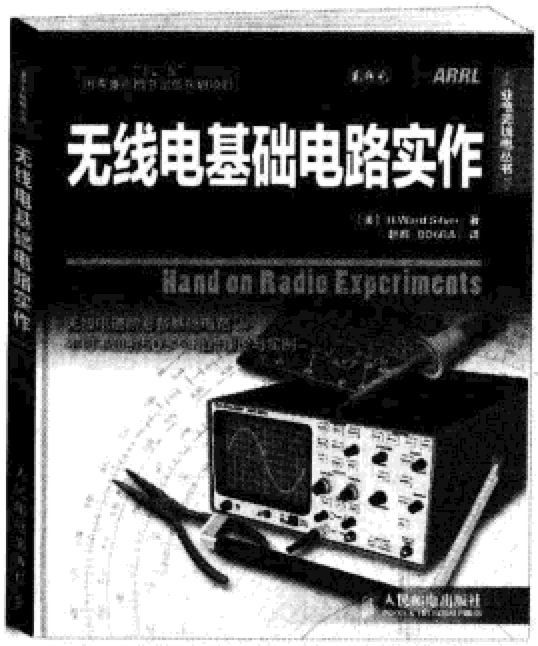
不多的“陶瓷谐振器”，它实际上是陶瓷元件（按功能和用途不同，可分为陶瓷谐振器、陶瓷滤波器、陶瓷鉴频器、陶瓷陷波器……）中的一种，如图3所示。陶瓷谐振器采用压电陶瓷材料制作而成，其基本结构、工作原理、特性、等效电路及应用范围等与石英晶体谐振器相似。由于陶瓷谐振器的有些性能不及石英晶振，所以在要求较高（主要是频率精度和稳定度）的电路中不宜采用陶瓷谐振器，而应当选用石英晶振。也就是说，在实际应用电路中，用石英谐振器可以代替陶瓷谐振器，但是陶瓷谐振器不一定能代替石英谐振器。

7. 石英晶振是一种比较“娇贵”的元件，在实际应用时必须注意以下3个方面：

其一，石英晶振怕振动、怕高温，在对其引脚进行弯曲加工时，必须在根部留有一段距离。焊接好的印制电路板上如果有石英晶振，就不能用超声波进行电路板清洗，否则极有可能损坏石英晶振。焊接石英晶振时电烙铁的温度不得过高。一般经过焊接的石英晶振总会经历一个频率偏移过程，但会自动消失。

其二，石英晶振属于对静电敏感的器件，因此需要注意防静电。在焊接石英晶振时电烙铁的外壳应良好接地，不能有静电或漏电。另外，石英晶振在电路中的工作电压不能过高，否则极容易造成器件的损坏。

其三，拿取石英晶振时，注意不要掉落到地上或受到强烈冲击，否则容易损坏内部结构。使用石英晶振的家电遥控器等，同样不能受到强烈冲击或振动，以免造成工作频率不稳定或停振。实践证明，家电遥控器出现故障，往往是遥控器不慎掉落地上或意外受到强烈碰撞后而发生的。



ISBN：987-7-115-25117-6

◎ H.Ward Silver 著 赵辉（BD6RA）译

认识高频振荡器

——摘自《无线电基础电路实作》

本书介绍了50多个电子实验，文字简练，通俗易懂，能够使读者更容易了解无线电基础知识：

◇无线电与电子基础 ◇半导体器件基础 ◇单元电路制作 ◇电源电路

◇滤波器 ◇振荡器与缓冲电路 ◇传输线与阻抗匹配

书中的每个实验都提供了完整的元器件清单。

在一定的意义上，高频振荡器是无线电收发信机的一个组成部分——没有振荡器就没有信号放大或者接收。

振荡器回顾

振荡器由放大器（三极管、电子管、芯片）和反馈电路组成。反馈电路（如图1所示的LC谐振电路）在谐振频率点，放大器增益（图1的A_V）和反馈比（β）的乘积等于1或者大于1。$A_V\beta$也叫做环路增益，即信号通过放大器、反馈环路，然后返回输入端经历的总增益。$A_V\beta \geq 1$就是巴克豪森准则。在这个情况下，“1”是指振幅为1，相位差为0°。如果A_V为负（反相），那么β也必须是负的，也就是说反馈有180°相移。

图2是同一种振荡器派生出来的3种电路。电路增益由三极管和LC谐振回路提供，抽头提供反馈信号。谐振电路有两个目的：在需要的频率提供必要的相移，在放大器环路里担任信号滤波器，使放大器只放大需要的信号（为了清晰明了，未画出直流偏置电路和电源连接部分）。为了能够看明白共发射极电路的并联LC谐振回路，我们可以想象成两个电容连接在一起，连接点接地，见图中的虚线。

高频振荡器

高频振荡器的电路和低频振荡器的电路不同。RC相移电路一般不能用于几兆赫以上的振荡电路。R的参数或者C的参数会变得过小，不切合实际，振荡器很容易产生寄生振荡，使稳定度、一致性受到影响。在高频场合，使用电感和电容形成相移比较容易。

大多数高频振荡器采用双极性三极管或者场效应管这类分立元件，而不用运放。大多数运放适合高增益、低频率的场合。高增益、宽带宽的运放比2N3904（NPN管）或者2N4416（N沟结型场效应管）这类分立的晶体管贵得多。这类管子价格低廉，在几百兆赫的频率仍有增益。所以，高于1MHz时，大多数电路都采用三极管的带反馈放大器。需要的相移由谐振回路提供，例如LC谐振回路。

哈特莱与考毕兹

20世纪20年代，哈特莱与考毕兹二人提出了不同的振荡电路，见图3。这两种电路在无线电设计中很常见。在这两种电路里，发射极电路通过两个电抗元件形成分压器，提供反馈。如果电抗元件是两

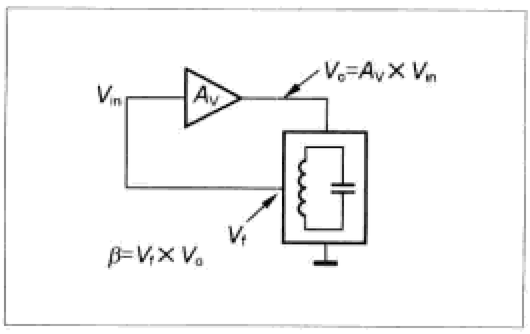


图1 振荡器由放大器加反馈电路组成，在这里反馈电路是并联的LC谐振回路能够防止产生不需要的频率。

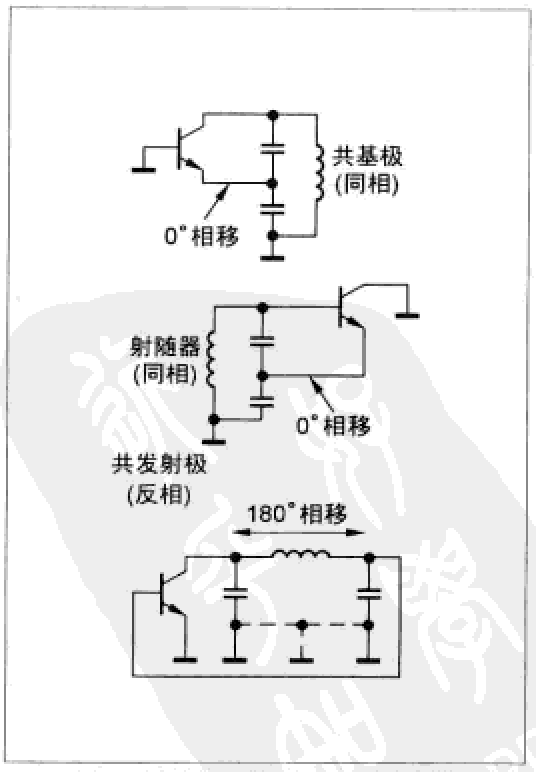


图2 三种根据考毕兹振荡器派生的振荡电路。放大电路的类型确定是需要0°还是180°的相移。

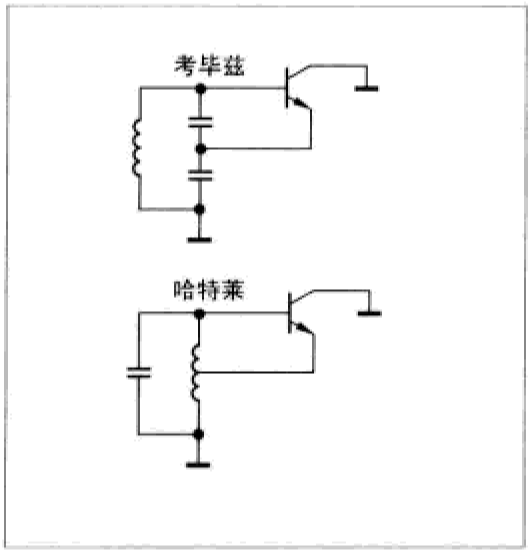


图3 考毕兹振荡器和哈特莱振荡器工作原理相同，但是采用了不同的与LC谐振回路连接的方式来提供反馈。

个电容，就是考毕兹振荡器（图2中的电路都是考毕兹振荡器）。如果电抗元件是两个电感，或者更常见的带抽头电感，就是哈特莱振荡器。这两个电路在今天依然常用，大约已经有100年的历史了。

哈特莱振荡器和考毕兹振荡器在性能上很相似，但是它们的差异可能会影响设计人员的偏好选择。例如：哈特莱振荡器比考毕兹振荡器调谐范围宽，元件少；考毕兹振荡器无需抽头电感，而且有几种派生电路稳定性很好。

自制高频电路实验板

虽然插拔式的面包板使用方便、搭电路也容易，但是，这种电路板不适合几兆赫以上的频率。电路板里的接触条会给电路带来很大的电容，几乎是无法预料的。有的元件的引脚也太长，有很大的电感，使高频电路牢固接地会非常困难。

业余无线电爱好者提出了用于高频电路的方法：“丑陋安装法”或者“曼哈顿安装法”，这两种安装法是采用一块没有腐蚀过的敷铜板作为地，需要接地的元件直接焊在敷铜板上。“丑陋安装法”用高阻值的电阻（典型值为1MΩ或者再大一些的）作为支架，在上面焊接不接地的元件。“曼哈顿安装法”是采用小块的敷铜板作为支架。小块的敷铜板可以焊在作为地的敷铜板上（这时小块敷铜板必须是双面的），或者用热熔胶粘在作为地的敷铜板上。

在动手制作高频振荡器之前，我们先做一块高频电路实验板。我们需要一大块单面或者双面敷铜板（至少要8英寸×8英寸），还需要一块比敷铜板大一点的木板。在敷铜板的4个角钻固定孔，把敷铜板用螺钉固定在木板上。有了木头基座，敷铜板就会稳重一些，不会被连线带着走了。笔者还在木头基座的底部安装了橡胶脚。完工后，用细砂纸打磨一下敷铜板表面，去除手指印和氧化层。用酒精擦洗也可以除掉表面油污，最终的目的就是易于焊接。

实际的哈特莱振荡器

图4是一个实际的哈特莱振荡器，这个电路可从低频一直工作到GHz。我们先花点时间研究一下这个电路。L1有抽头，形成哈特莱振荡器特有的电感分压电路。C1和C2与L1并联构成谐振槽路，确定了振荡器的频率。

放大器采用了2N4416结型场效应管，连接成共漏极放大器，漏极通过C4交流接地。源极电流通过L1的下半部分提供与栅极信号同相的反馈信号。采用结型场效应管是因为这种管子的阻抗高，这就意味着线圈的负载轻，能够改善电路的稳定性。2N4416适用于高频率、低噪声的振荡电路。

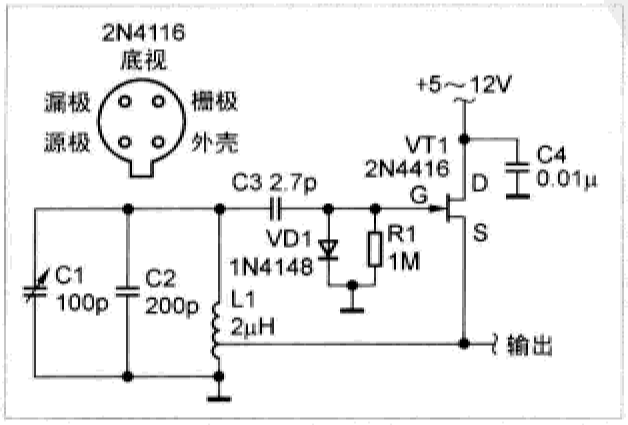


图4 实际的哈特莱振荡器电路。电路采用了限幅电路稳定输出幅度，减小谐波信号幅度。把容量小一点的可变电容与容量大的固定电容并联，使调谐平滑。

被放大的信号在环路里反反复复，变得越来越大，必须进行限幅，振荡器才不会饱和或栓锁在电源电压或地电位。限幅是一种自动增益控制，随着振荡建立，限幅可以稳定振荡器的增益，使输出幅度稳定。这就是图4中C3、VD1、R1的作用。

一些槽路信号通过C1取出，经由VD1半波整流。在正半周，VD1把栅极钳位在0.6V。在负半周，VD1允许C3充至信号的负波峰电压，充入的电荷随后通过R1慢慢放掉。随着振荡的建立，栅极也建立了负电压。最后，栅极-源极电压开始接近夹断电压或者截止电压（$V_{GS(off)}$），此时管子停止导电（2N4416的$V_{GS(off)}$范围在-2.5~-6V）。限幅电路能够稳定环路增益，振荡信号如果变大，就减小增益。这样就保证VT1工作在线性区，减少谐波和其他杂散信号。

制作振荡器

图5是笔者制作的振荡器的照片，振荡器安装在一小块敷铜板上。如果想把线圈绕得漂亮，可把铜线的一头固定在台钳上，把另一头固定在骨架上，向台钳方向转动骨架。不过，如果没有照片里的电路这么漂亮也不要紧，电子不会留意这个的。绕8匝，两头要至少留出1.3cm长的线头。把线圈的“冷端”，也就是接地端，直接焊在敷铜板上。

用C1和C2支撑线圈的另一端。这一端是槽路线圈的“热端”。C1一定要

采购清单

- 2μH电感——用14~18号线在直径3.81cm的骨架上绕8匝，线圈长度为2.54cm。
- 200pF聚苯乙烯电容或云母电容
- 100pF空气可变电容或压缩式可变电容
- 2.7pF、0.01μF陶瓷电容
- 1MΩ电阻
- 2N4416结型场效应管
- 1N4148二极管

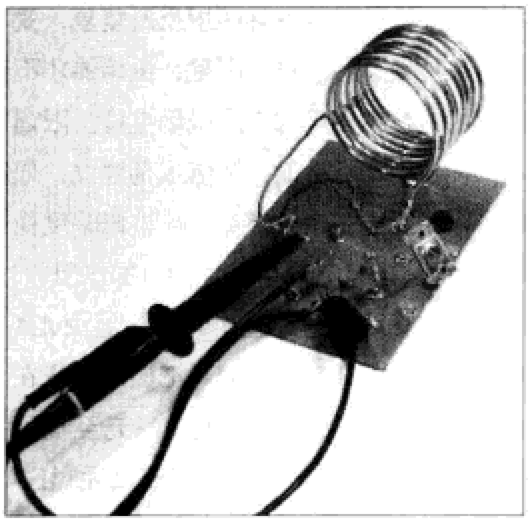
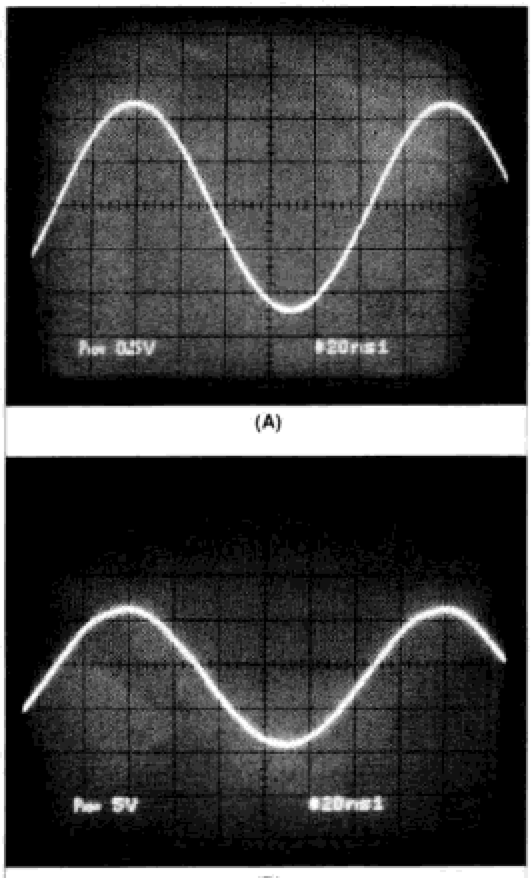


图5 笔者的振荡器实验板。线圈采用较粗的铜线绕成空心线圈。其他元件是相互支撑的，接地端直接焊在敷铜板上。



(A)　(B)

图6 图(A)是有VD1时的情况，振荡器输出的正弦波波形干净，幅度为2.5 Vp-p。图(B)是断开VD1时的情况，这时限幅电路不起作用，幅度要大一些（16 Vp-p），波形有明显失真。

固定好。把VD1和R1焊在敷铜板上，相互形成倒“V”字状。把C3焊接在线圈与VD1、R1的连接点上（从图5中可以看出，C3是个绞合电容。绞合电容是用两根绝缘电线相互拧几匝制作的，每厘米大致容量为几皮法）。

把VT1的引脚相互成45°向四周掰开，剪掉标有“外壳”的引脚。把栅极焊接在VD1和R1的连接点上，利用C4支撑漏极，用电线把源极与L1的中间轴头（从地数起第二匝）连接起来。一定不要把引脚接错。制作时很容易忽略连接错误，通电之前一定要仔细检查电路。

把电源调整到+5～+12 V。把C4的接地引脚作为示波器的接地端，C1调整到容量一半的位置。接通电源时，振荡器应该立刻起振，振荡频率大概在7MHz，输出幅度在峰－峰值几伏左右。

测量从一个峰到另一个峰的周期，计算频率（1/*t*）。如果频率在40m波段，那就成功了。如果接近40m波段，可以调整C1（加大C的容量，频率就会下降），把频率调整到40m波段范围。如果调整C1也不能把频率调整到40m波段，那么就把C1调到容量一半的位置，略微压紧线圈（加大电感会使频率降低），或者把线圈匝与匝之间的距离拉开一点，调整C1，直至可以把频率调到规定的范围内。

实验振荡器

打开HF收信机，接收一下自制振荡器的信号，放在振荡器边上的收信机应该能收到很强的信号。如有必要，打开接收机上的衰减开关，使信号保持在S9+10dB或20dB。收到的信号是慢慢地向高端漂移还是向低端漂移呢？工作稳定还是有跳跃感呢？

算出2次、3次、4次、5次谐波，并在收信机上收到这些频率。在基频出现的不稳定现象在谐波上是否也有？如果有，漂移的速度应该更快。比较接收基频和谐波的信号强度。

断开振荡器的电源，临时断开VD1的一端。再次接通振荡器电源，这时振荡器输出端的幅度应该比原来增大了几倍。仔细观察，会发现波形有点失真。从图6（A）和图6（B）中可以看出笔者的振荡器在有VD1情况下和无VD1情况下的差异。断开二极管后，再听一下基频信号，测量谐波的幅度。振荡器输出端出现的失真是谐波幅度增加引起的。断开电源，接好VD1。

温度对振荡的稳定性也有影响。因为元件是暴露在自由流动的空气中的，振荡器的频率会随温度变化。如果有电吹风，可以对振荡器加热，同时用收信机跟踪振荡器的信号。不管频率是向上走还是向下走，都可以看出频率变化是很大的。把热风对准线圈或管子，观察哪个元件对温度更加敏感。

把热烙铁靠近C1和C2，观察加热对这两个元件的影响。对VT1、C3、VD1、R1依次加热。如果手边有冷却喷剂或压缩空气，分别冷却这几个元件。现在我们应该明白，为什么主振荡器往往密封在小型的盒子里，甚至还要加温。

我们也会听见微音效应，也就是振荡器对机械振动的响应。移动电路板，让线圈出现振动，就会从收信机里听见频率的变化。为了听得更清楚，可用铅笔敲击线圈，敲击不要太用力，免得频率跑得太远。敲击其他元件，对比这些元件对频率影响的敏感度。保持振荡器频率稳定的确是个挑战。

最后一项测试，把电键接在振荡器的电源回路里，按动电键，从收信机里听听这个微型发射机发出的信号。留意电键按下时是否有啁啾声和敲击电键时的微音效应。实验时，使用自己的呼号，因为有可能会听到附近业余无线电爱好者的应答。如果想把这个振荡器连接到天线上，那就需要连接一个40m波段滤波器来减小谐波。使用短的1/4波长的同轴匹配电缆就可以起到滤波的目的。

用这个振荡器可以进行很多实验：改变线圈的抽头点，观察对频率和波形纯度的影响，改动C3和R3的参数，观察对振荡器稳定度的影响，换用其他型号的N沟道结型场效应管，例如MPF102，改动线圈和电容的参数，让振荡器工作在高一些的频率上。

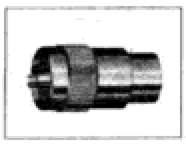
常用射频同轴连接器

◎刘辉

业余无线电中经常用到射频同轴连接器（俗称接头，同轴接头，射频接头等），主要有UHF型、N型、BNC型、TNC型、SMA型等，本文中我为大家介绍一下这几种连接器的命名由来、主要性能、连接器与电缆的装配方法等，希望能对爱好者在同轴接头的选择和使用上有所帮助。

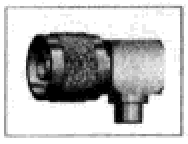
射频同轴连接器的类型

◆ UHF型同轴连接器



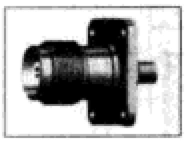
这种接头最早是在1930年，由安费诺集团的工程师E. Clark Quackenbush 为雷达工业所研发出来的，也称为SL16，爱好者习惯称为M头，国外也将UHF插座（母头）称作SO239，将插头（公头）称作PL259。虽然标准称作UHF，但由于其对阻抗匹配无严格要求的，采用端齿啮合的连接，一般装置设计的应用频率不超过300MHz。该产品特别适用在所有民用波段通信系统、闭路电视、车载无线电装置、船舰对岸通信设备、登陆降落系统及地面控制装置等中，其特点是抗振性好，连接可靠，性能稳定。

◆ N型同轴连接器



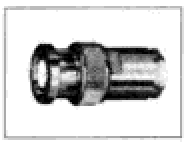
这种接头是由 Bell 实验室的工程师 Paul Neil 开发出来的，取其姓而命名为“N”型射频同轴连接器，这也是第一个具有微波传输能力的同轴连接器。它是有螺纹连接的中功率连接器，具有可靠性高、抗振性强、机械和电气性能优良等特点，广泛用于振动和环境恶劣条件下的无线电设备及地面发射系统中连接射频同轴电缆。其标准为英制螺纹，24 齿 / 英寸，国标曾有 L16，螺纹是公制的，25.4 齿 / 英寸，后来废除了，采用 N 型标准。国内有厂家将螺纹间隙做大，可以同时实现公、英制螺纹连接，这样的连接器不宜在 1GHz 以上使用。

◆ TNC型同轴连接器



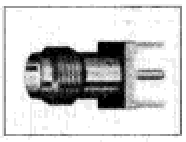
这也是安费诺集团的那两位工程师（Neil和Concelman）共同研发出的螺纹接口式（Threaded）同轴连接器，取Threaded-Neil-Concelman的缩写而命名。它具有工作频带宽、连接可靠、抗振性能良好等特点，可供无线电设备和仪器中连接电缆用。

◆ BNC型同轴连接器



这是由安费诺集团的两位工程师（Neil和Concelman）共同研发出来的刺刀卡锁式（Bayonet）同轴连接器，取Bayonet-Neil-Concelman的缩写而命名。该系列同轴连接器，具有连接迅速、接触可靠等特点，广泛应用于无线电设备和电子仪器领域连接射频同轴电缆。BNC国标对应的是Q9。

◆ SMA型同轴连接器



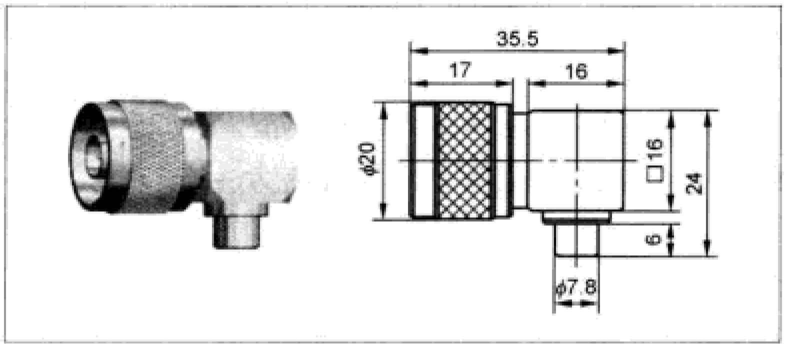
它是超小型射频同轴连接器（SUBMINIATURE RF COAXIAL CONNECTORS）之一，类似还有SMB型、SMC型等。业余无线电中常用到的是SMA型，它是一种应用广泛的小型螺纹连接的同轴连接器，具有频带宽、性能优、可靠性高、寿命长的特点。适用于微波设备和数字通信系统的射频回路中连接射频电缆或微带线。

这几种HAM常用到的接头还是比较好区分的。UHF型接头的中心导体看上去很粗，插座端面有齿。N型接头外形大小和UHF型接头差不多，中心导体要细很多，这主要是阻抗匹配的需要。BNC型接头体积略小，外导体为卡口方式，插拔迅速。TNC型接头外形看上去像是缩小的N型连接器，内部则更接近BNC连接器。SMA型接头体积小巧，多用于手持对讲机，常用的WIFI 无线路由器上用的是RP-SMA型接头（极性反转的SMA型接头），即外导体连接形式不变，内导体的插针和插孔对换的连接器。

除了从外形特点来判断，还可以测量接头的主体尺寸来准确判断接头的类型了。再根据端口连接形式和装配电缆的需要，按照命名规则，就可以确定具体型号了。本文介绍的是国内厂家常用的命名规则，进口接头多用规格代码，且因厂家不同而异，具体的就得参照厂家产品目录了。

射频同轴连接器的命名

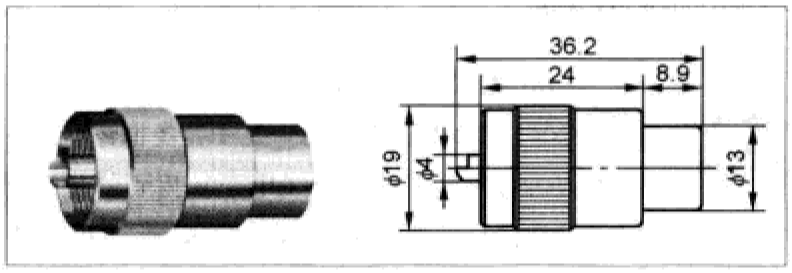
射频同轴连接器的型号由主称代号和结构代号两部分组成，中间用短横线"-"隔开。



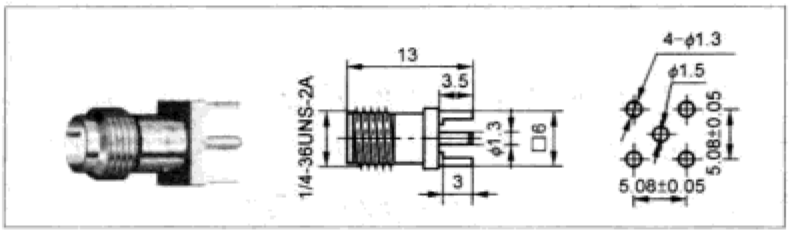
N-50 J W　B3

- 通常采用国际通用的主称代号
- 特性阻抗：50Ω标50或不标，75Ω标75
- 接触件形式：插针标J，插孔标K
- 外壳形式：直式不标，弯式标W
- 安装形式：法兰标F，螺母标Y
- 接线种类
  - 电缆：用电缆绝缘外径公称尺寸表示
  - 微带：D
  - 半刚：B
  - 压接式：C
  - 印制板：E
  - 高频线：不标

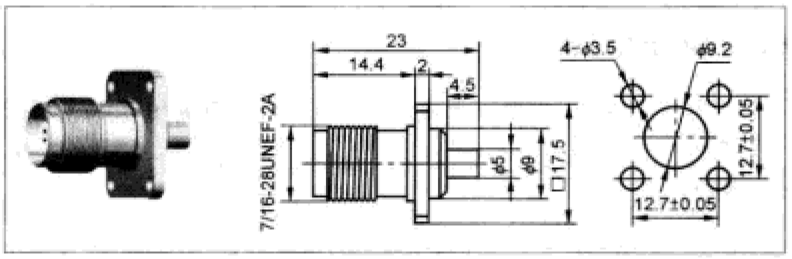
例1 UHF-J3表示UHF型直式射频插头，插头内导体为插针，配用SYV-50-3、RG-58/U等射频电缆。



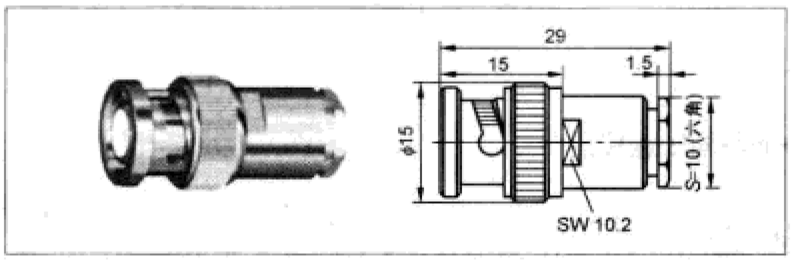
例2 SMA-50KE 表示 SAM 型直式射频插头，内导体为插孔，焊接在印制线路板上，阻抗为 50Ω 的射频插座。



例3 TNC-KFB3表示TNC直式射频插头，内导体为插孔，法兰盘安装，配接SFT-50-3、RG-402等半刚电缆。



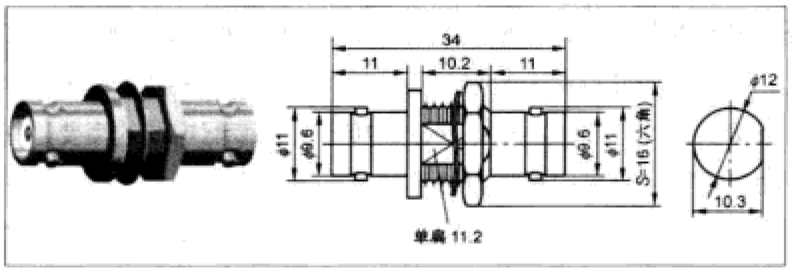
例4 BNC-J2表示BNC直式射频插头，内导体为插针，配SYV-50-2-2、SFF-50-2-2等软电缆。



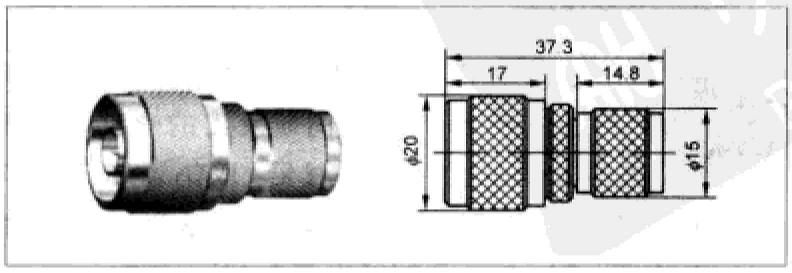
转接器的型号组成

转接器的型号以插头或插座的型号为基础派生组成，一般采用转接器型号的主称代号部分，以连接器主称代号（系列内转接器）或分数形式（系列间转接器）标示。

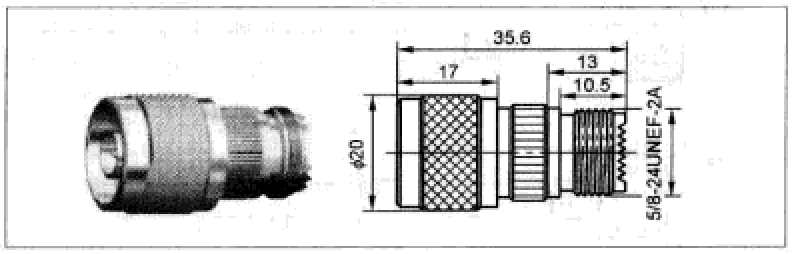
例5 BNC-50KKY表示BNC型系列内转接，两端均为插孔，阻抗为50Ω，螺母安装。



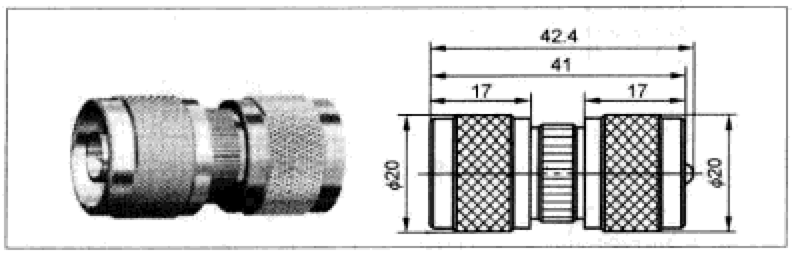
例6 N/TNC-50JJ表示一端是N型插针，另一端是TNC型插针，阻抗为50Ω的转接器。



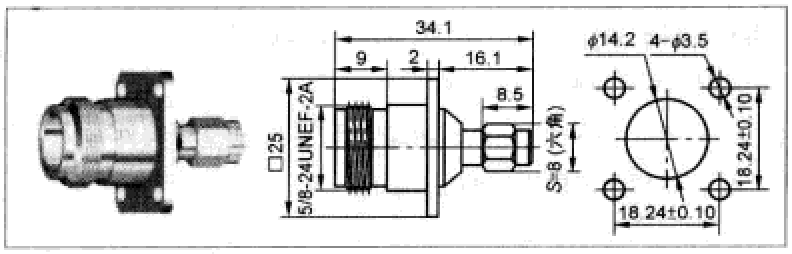
例7 N/UHF-JK表示一端为N型插针，另一端为UHF型插孔，阻抗为50Ω的转接器。



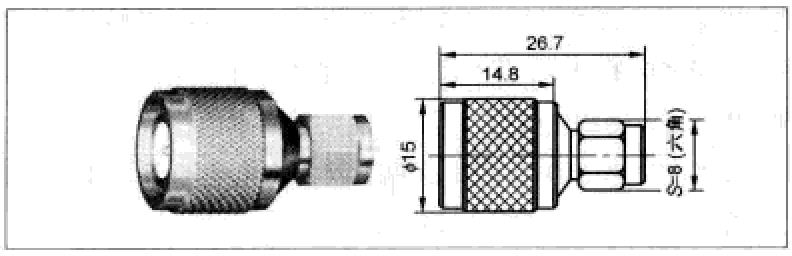
例8 N/UHF-JJ表示一端为N型插针，另一端为UHF型插针，阻抗为50Ω的转接器。



例9 N/SMA-50KJF表示一端为N型插孔，另一端为SMA型插针，法兰盘安装，阻抗为50Ω的转接器。



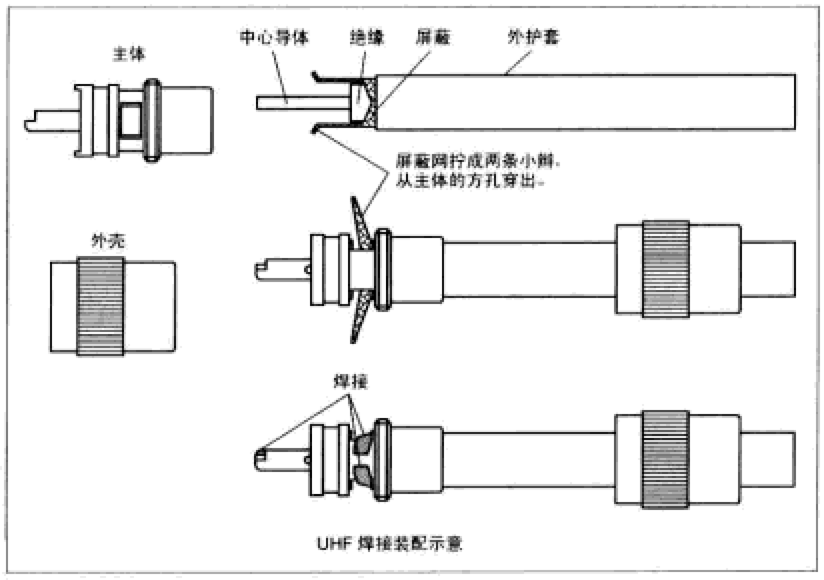
例10 TNC/SMA-JJ表示一端为TNC型插针，另一端为SMA型插针，阻抗为50Ω的转接器。



同轴连接器与电缆的安装

同轴连接器和电缆的安装要注意区分刚性/半刚性电缆和软电缆，我主要介绍一下与软电缆的安装方法。中心插针/孔主要采用焊接和压接的方法。在缺乏专用工具的情况下，焊接用得最多。屏蔽网主要有焊接、钳制、楔压、压接等几种类型，下面举例说明这些安装方法。这些安装方法不仅限于所举例的接头类型，接头类型和安装方式可以自由组合，请按照实际接头和安装需要剥离电缆，依相应的安装方式进行组装。

1. UHF-J7配SYV-50-7电缆



UHF 焊接装配示意

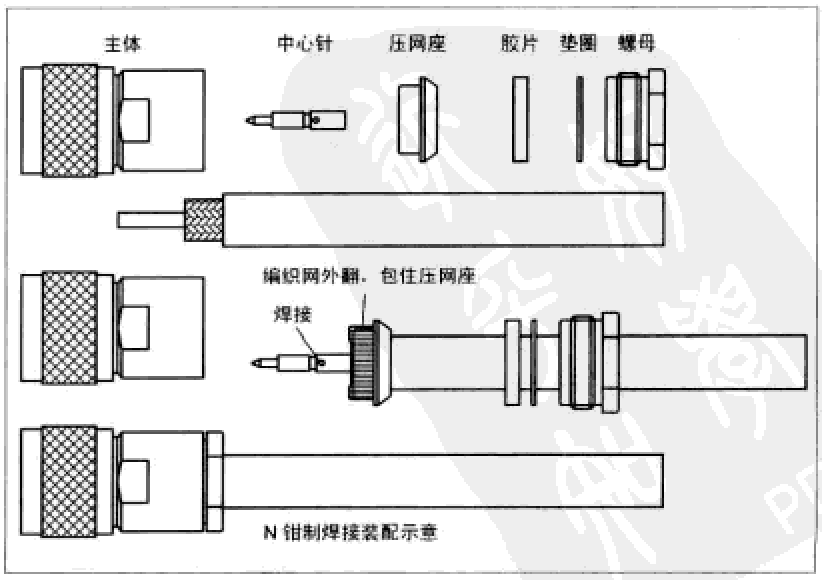
步骤一：所有连接器的零、配件。

步骤二：根据厂家推荐电缆剥离尺寸或连接器实际尺寸剥去电缆的内导体、绝缘体、屏蔽编织网和绝缘外皮，用专用剥线工具或刀片均可，但不得损坏电缆芯线、内外绝缘和屏蔽层。

步骤三：将外壳套上电缆，将主体旋上电缆，并将编织网辫子从主体的方孔穿出。

步骤四：剪掉多余的部分，分别焊接中心导体和编织网，然后将外壳旋上主体，定位。

2. N-J7-8X 配 BELDEN 9913 电缆



N 钳制焊接装配示意

步骤一、二同“UHF-J7配SYV-50-7电缆”。

步骤三：将螺母、垫圈、胶片依次推上电缆。

步骤四：将压网座推靠着电缆外皮，并如图中样子，将编织网向外、向后拔，并将压网座包住，切掉多余的绝缘层，留出适当长度内导体，将中心插针焊上。

步骤五：剪掉多余的屏蔽编织网，将电缆和组件推入主体内，然后使用合适的扳手旋紧螺母。

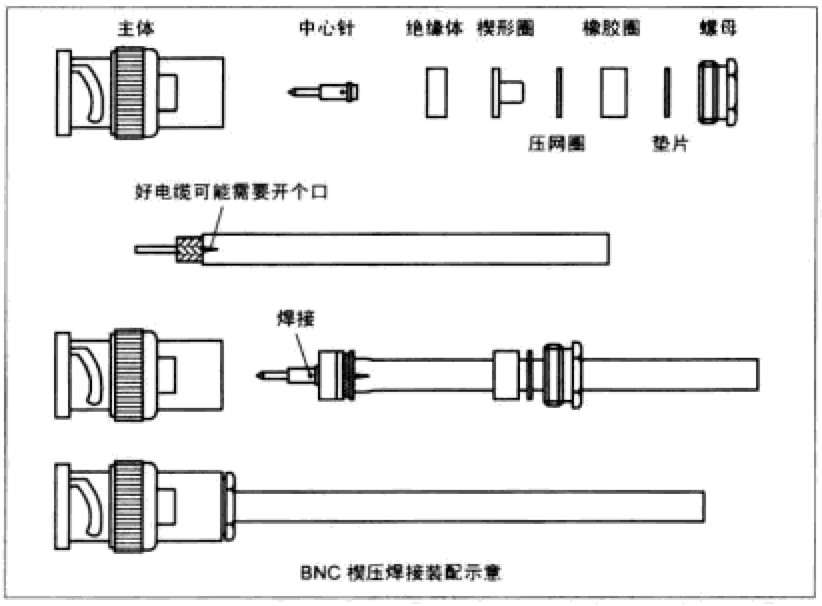
3. BNC-J3 配SYV-50-3电缆

步骤一、二同“UHF-J7配SYV-50-7电缆”。

步骤三：将螺母、垫片、橡胶圈依次推上电缆。

步骤四：将压网圈推靠着电缆外皮，将楔形圈从编织网屏蔽和内绝缘之间插进去，使屏蔽编织网被夹在压网圈和楔形圈之间，切掉多余的绝缘，留出适当长度的内导体，将绝缘体套上，靠紧楔形圈，并将中心插针焊上。

步骤五：剪掉多余的屏蔽编织网，将电缆和组件推入主体内，然后使用合适的扳手旋紧螺母。



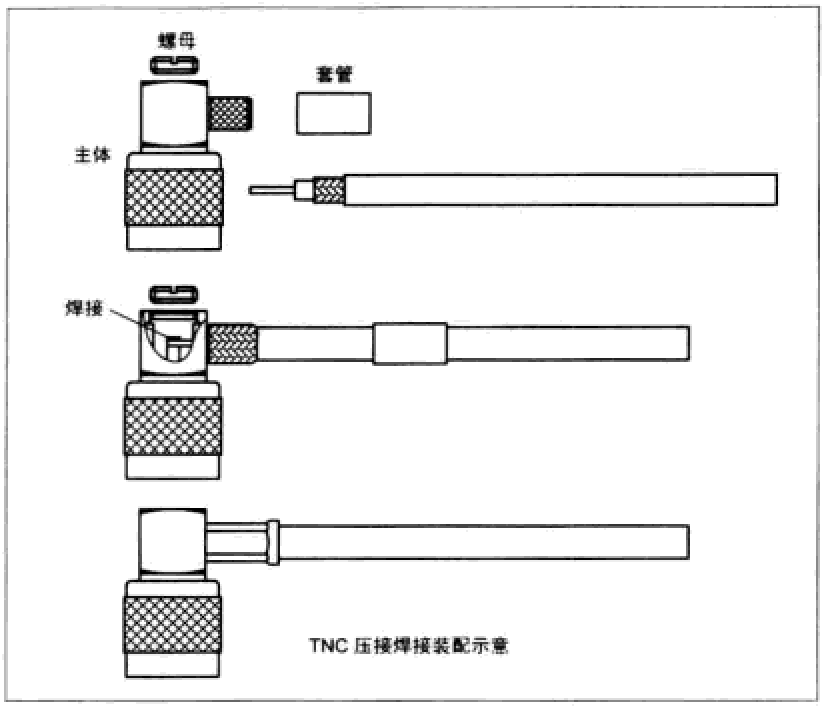
BNC 楔压焊接装配示意

4.TNC-JWC3配RG-58/U电缆

步骤一、二同“UHF-J7配SYV-50-7电缆”。

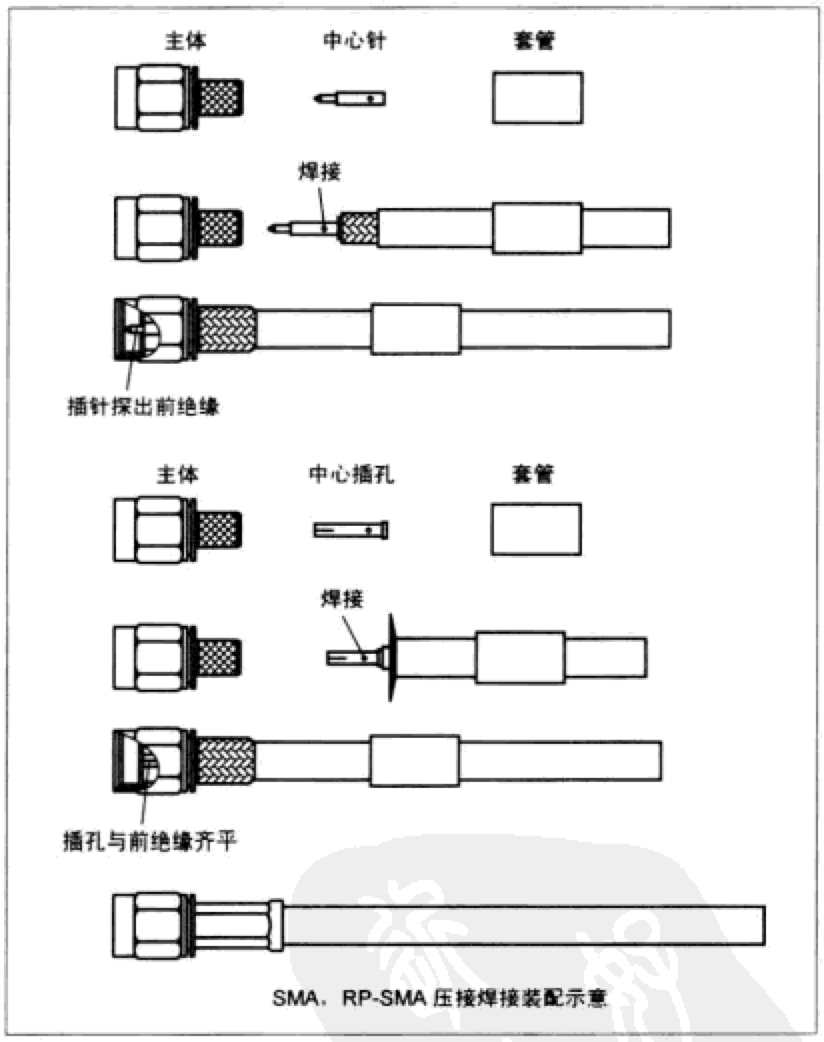
步骤三：将套管套上电缆，将主体推上电缆，使屏蔽编织网包裹在主体外，将内导体焊在中心插针上。

步骤四：剪掉多余的屏蔽编织网，套管推上编织网，并使用RG-58的压线钳，将套管压接成形。



TNC 压接焊接装配示意

5. SMA-JC3 配 SFF-50-3 电缆



SMA，RP-SMA 压接焊接装配示意

RP-SMA-K的装配基本和普通SMA-J一致，主要就是将插孔装入内导体时，要翻开屏蔽，切去比屏蔽多的绝缘体，使插孔的安装位置比按插针的位置靠后2.5mm。相反，将SMA-K装为RP-SMA-J时，要少切去绝缘，使插针的安装位置比安插孔的位置靠前2.5mm。

笔者以上介绍的内容主要是参考产品目录和国内多家射频同轴连接器生产厂的产品手册，同时结合自己使用国产和进口连接器及电缆的经验总结而成。有疏漏、欠妥之处，还请广大爱好者批评指正。

◎姚宗栋

天籁之音

人类美好的追求（4）

通过上一章的介绍我们了解了扬声器技术如何诞生，又如何从幼稚一步步走向成熟。在本章里，我们将一起来了解一下飞速发展的科学技术又促生了哪些新式的扬声器技术，以及日渐成熟的扬声器技术如何才能打破现有技术的禁锢，“破茧成蝶”，获得新的突破。最后介绍一种新型无振膜扬声器专利技术是如何实现这一突破的。

16.“准带式平面磁驱动式”扬声器的发明

1971年詹姆斯·威尼（James Winey）成立“Magnepan”公司，推出厚度仅1/8英寸的平面振膜扬声器，成为平面扬声器的领导者。它不同于同样是薄形外观的、依靠高电压产生的电场力驱动的静电式扬声器，它是依靠通有电流的平面音圈产生的变化磁场与平行排列的条形永久磁铁的稳定磁场相互作用产生的力来驱动振膜振动发声的，其工作于比较新颖的“准带式平面磁驱动模式”（见图17）。这种工作方式的扬声器既具有静电式扬声器振膜受力均衡、音质自然动听的优点，又不需要静电扬声器的高压生成电路，而可以由普通功率放大器直接推动。只是由于其磁路结构中只有磁场的边缘通量才能与振膜上分布的“音圈”产生的磁场相互作用，因此这种扬声器的灵敏度一般相对于普通的电动式扬声器要明显的低。而且，其振膜比静电式或带式相对的都要重，影响了它的频响范围，在一定程度上使其应用受到了限制。

17. 海尔（Heil）式扬声器的发明

1973年，德国物理学家奥斯卡·海尔（Oskair Heil）研究出一种工作原理与带状扬声器非常类似的“气动式变压器（Air Motion Transformer）”的新型扬声器，并且申请了德国No.524943专利（见图18）。从图中可以看出振膜不是拉紧的，而是呈“S”形挂在架子上，当磁力交替挤压弯曲皱褶的振膜，再将它们推开，空气就随着被挤出、吸入褶皱内部而发声。产生了类似活塞式运动的锥形振膜振动推动空气振动的效果，只是褶皱向外挤出的空气粒子的运动速度是数倍于褶皱本身运动速度的。海尔扬声器制作工艺复

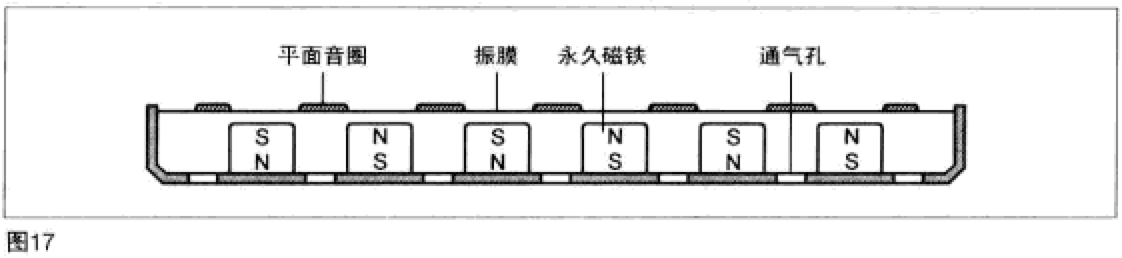


图17

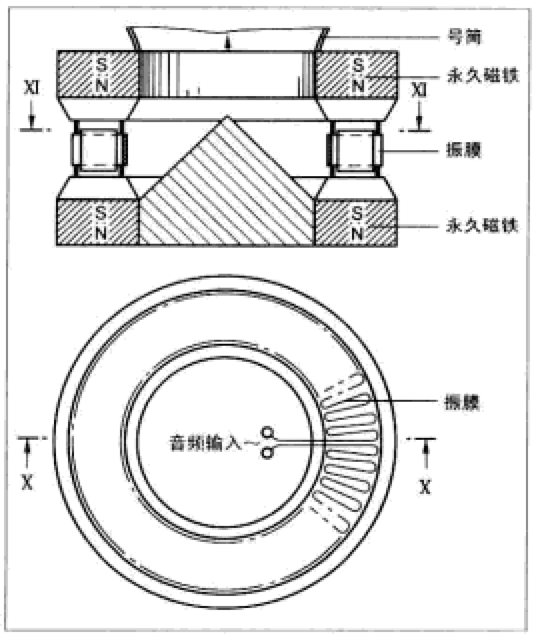


图18

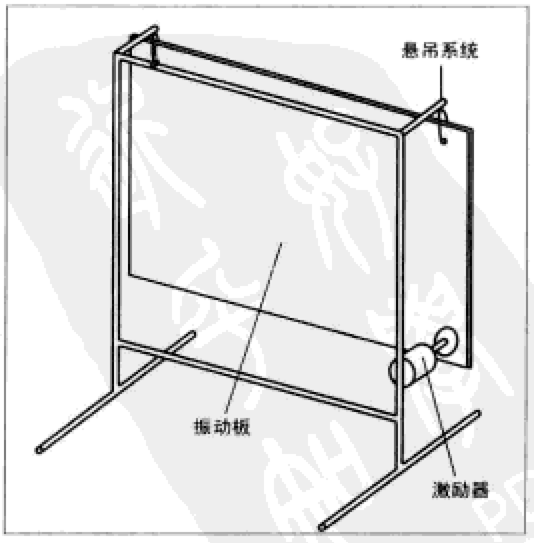


图19

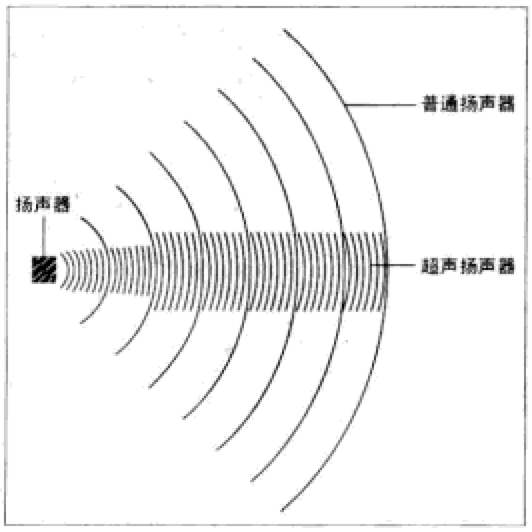


图20

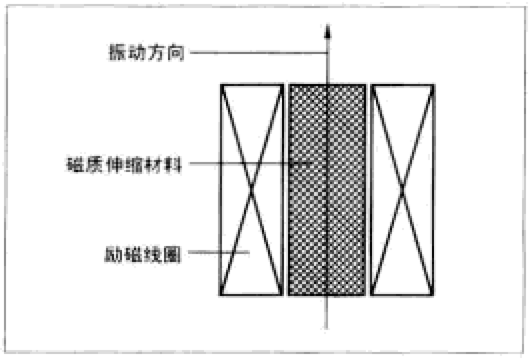


图21

杂、价格高昂、难以普及，现在一般只有在少数高端产品的高音单元中采用类似的工作模式。

18. 压电扬声器的发明

电介质（如石英、酒石酸钾钠等晶体）在外部压力作用下发生极化，使两端表面间出现电势差的现象称为“压电效应”，它的逆效应，即置于电场中的电介质的分子的排列方式会在外加电场的作用下发生改变,这将使该材料的宏观尺寸发生变化，导致弹性形变的发生，称为“逆压电效应”或“电致伸缩效应”。压电扬声器正是利用了这种效应工作的。早在1933年应用的双频带扬声器系统中就出现了使用酒石酸钾钠晶体的压电高频扬声器。2010年6月9日，日本株式会社村田制作所宣布，实现了世界首创厚度仅为0.9mm的超薄型防水压电扬声器的商品化。充分发挥了压电式扬声器体积小、厚度薄、防水、防尘、不需要偏置磁场、机械结构稳定等方面的突出优势。

19. NXT平板扬声器的发明

1990年8月4日英国工程师肯恩·海恩（Ken Heron）申请了有关“NXT”扬声器的No.2246684英国专利（见图19）。NXT扬声器的基本构造主要由激励器、振动板、悬吊系统三大部分构成。NXT扬声器采取完全不同于传统扬声器活塞式运动的工作方式，是用一个小的激励器去驱动一块平板，使平板的辐射表面产生几乎是随机波浪形的振动，其上面的每一个面积单元都能作相互独立的无规则振动，整块平板就像是一个由许多的微型扬声器组成的阵列，“NXT”技术采用了适合这种振动要求的薄板材料，并开发了一种能够控制这种薄板进行无规则振动的技术，即NXT所称的“分布式(Distributed Mode)”控制技术，使整个平板发出的信号合成在一起后，从整体上又形成一个我们所需要的声输出信号。NXT平板扬声器不需要音箱，可以直接悬挂在墙上，指向性优于普通扬声器，但是其低频还原能力、音像定位效果、音质很难达到Hi-Fi的要求。

20. 超声波合成扬声器的发明

超声波的频率是远在我们可闻频率范围（20Hz~20kHz）之外的，完全听不到的。但是当将一个200kHz的超声波音束与一个可在200～220kHz的范围内受输入音频信号的调制，频率发生相应变化的超声波音束在空气中差频传播的时候，由于空气的非线性特性导致两个超声波音束差频后产生0～20kHz频段的人耳可以听到的声音。超声合成式扬声器就是利用这种效应工作的。

20世纪90年代，在美国西北大学从事“3D Audio”开发研究的研究生约瑟夫·庞贝（Joseph Pompei）获得了“音频聚光灯音响系统（Audio Spotlight sound system）”专利，其利用两束超声波波束合成后得到类似“聚光灯”效果（见图20）的高指向性的可闻声音辐射特性。因其可以在特定的小面积范围内形成可闻声音，而不会干扰到周围的区域，所以广泛的应用在博物馆、展览馆等需要对特定的区域进行特定的声音信号播放而又不能互相干扰的场合。

21. 磁致伸缩扬声器（Magnetostrictive speakers）的发明

铁磁性晶体在外磁场中被磁化时,会沿着磁化方向发生微量的伸长和缩短,此现象即为磁致伸缩(见图21)。磁致伸缩换能器利用了磁致伸缩效应。超磁致伸缩(GMM)平板扬声器是近年来出现的一种新型的实用化的扬声器，利用超磁致伸缩驱动器驱动平板振动发声，具有输出功率大、响应速度快、工作频带宽等优点。现在市面上流行的依靠吸附在桌面、玻璃或其他可以振动的物体上发声的“扬声器”，其驱动器部分大多采用了这种工作模式。

22. 数字式扬声器的发明

1967年日本的NHK公司首次把PCM（Pulse Code Modulator/脉冲编码调制技术）技术应用到了音响领域内。在充分认识到了数字化技术的巨大优势后，人们开始开发数字化扬声器，采取的技术方案主要有多音圈数字扬声器和数字换能器阵列两种（见图22）。它们都由输入的二进制编码的PCM数字信号直接驱动，在扬声器磁场，或者在空气传输中转换成人耳所能接收的模拟声音信号。数字扬声器因其可以由数字信号直接驱动，消除了D/A数模转换环节所造成的失真和噪声，不再需要转换效率低、容易产生失真的模拟功率放大器。电路工作于脉冲开关状态，效率非常高，而且在较低电压的驱动下也可以获得较大功率的输出，非常适合低电压供电的场合。但数字扬声器的性能在一定程度上主要由其所采取的量化比特数决定：如果量化比特数过低，虽然可以减少音圈绕组或数字换能器阵列的数量，使得设备以及驱动电路都变得相对简单，但其对于

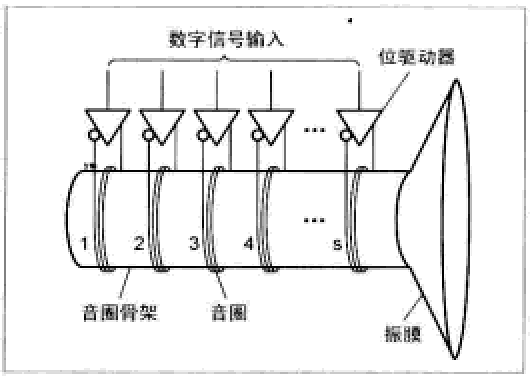


图22

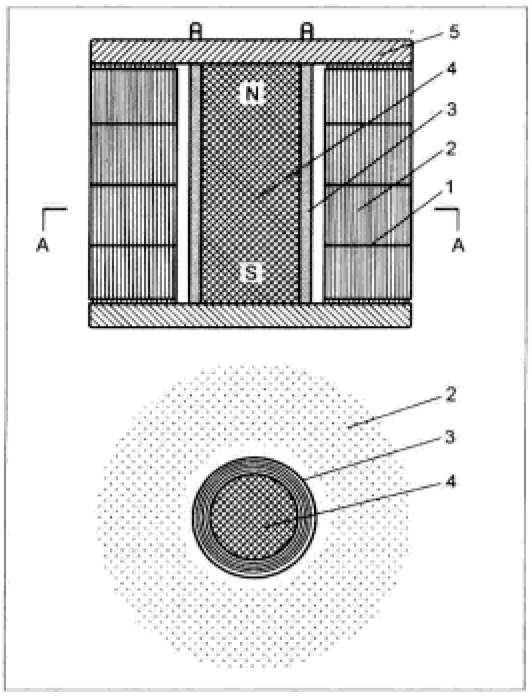


图23

声音的还原性能还无法与传统换能器相比。若提高比特数，又将面临着设备变得非常复杂以及加工精度很难达到设计要求等问题，生产成本也会非常高昂，难以实用。另一方面对性能优劣同样起着很大决定性作用的机械滤波器和声滤波器的滤波特性也很难达到要求的理想状态。以上难题的存在制约着数字式扬声器的进展和实际应用。

23. 超薄形扬声器的发明

2008年4月清华大学物理系范守善院士、姜开利副研究员领导的科研小组申请“碳纳米管薄膜扬声器”的国内和国际专利，碳纳米管薄膜在有音频电流通过时，基于热声效应会发出声音，具有类似“扬声器”的功能。其厚度只有几十纳米，而且是透明、柔软和可伸长的，可以被裁剪为任意形状和大小。

2009年9月14日美国《华尔街日报》宣布了2009年“全球技术创新奖”的“消费类电子奖”，第一名为台湾工业技术研究院电光所纳米电子技术组最新研发的“超薄形纸质扬声器”。其以厚度不到1mm的纸张为主要材质，只需要两张纸，在上面铺以金属薄膜当电极，并在中间加入一层带静电荷的振动膜，输入的音频电压信号在电极之间产生变化的电场，就可以使振膜相互吸引或排斥，从而推动空气振动产生声音，非常类似于静电推挽式扬声器的工作方式。

同年，英国华威大学的工程师也研究出了一种新型超薄薄膜扬声器，由两层轻薄的导电膜和夹于中间的绝缘膜构成类似“三明治”的复合结构，总体厚度不超过0.25mm，将含有音频信息的电信号施加于此复合层上，激发其发生振动，带动空气振动发出声音。其形状扁平，能随意弯曲，可以像画一样悬挂在墙体上。

超薄形扬声器是适应现代电子产品小型化、轻薄化发展趋势的产物，但是其性能限制了其在高保真领域的应用。

24. 新型无振膜扬声器技术

新型的无振膜扬声器专利技术是如何在没有振膜的情况下完成电声转换的?

在介绍这一新技术之前，我们首先要回到150多年前的1850年8月2日的英国。在这一天，英国科学家法拉第在向英国皇家学会递交的一份有关火焰和气体的磁性的研究论文的最后提到了一个重要的试验:将充满氧气的肥皂泡置于磁场中时，肥皂泡明显的被外部磁场所吸引而沿着磁力线的方向被“拉”向磁极处。在这个看似小孩游戏般的试验当中却包含着一个非常重要的发现：磁场可以对氧气产生力的作用。也就是说我们可以直接利用磁场力的作用来控制氧气的运动。法拉第发现的这一现象在当今利用磁场富集氧气、制氧等领域得到了一定的应用，但是我们可以发现：利用磁场力直接控制气体的运动，这一独特的方法不就是我们在电声转换技术领域苦苦寻求的利用电磁力来控制气体运动的最为直接最为简洁的方法吗！有了这种方法我们就可以舍弃传统电声转换方法中起到力的“中介”作用并带来种种难以消除的弊端的“振膜”，而将电磁力直接作用于空气，使其振动。我们下面所要介绍的电声转换技术正是采用了这种方法，提供一种新型的没有固体振膜的电声转换装置，用以有效地克服现有“固体振膜推动技术”所存在的电声转换波形失真大、频率响应差、频响范围窄等弊端。

无振膜扬声器的技术方案如下（见图23）：将可形成稳定的偏置磁场的永磁体或超导磁体或电磁线圈（4）与形成调制磁场的电磁线圈（3）组合，使偏置磁场与调制磁场相叠加，形成控制磁场。在控制磁场的两极分别连接一导磁体（5）。在两导磁体间的空间内设置两组高导磁细金属丝（2），并均布若干片与高导磁金属丝垂直的高导磁金属丝的固定支架（1）。将两组高导磁金属丝相间平行布设，固定于上述高导磁金属丝支架上。其中一组高导磁金属丝的一端分别固定在N极磁性的导磁体上，另一端分别固定在靠近S极磁性的导磁体的一片高导磁金属丝支架上；另一组高导磁金属丝的一端都分别固定在成S极磁性的导磁体上，另一端都分别固定在靠近成N极磁性的导磁体的一片金属丝支架上。

含有音频信息的电信号通入形成调制磁场的电磁线圈，得到与输入电信号的变化相一致的调制磁场,该磁场与偏置磁场叠加，得到可以在外部输入电信号的控制下于偏置磁场基础上变化的控制磁场（见图24）。控制磁场通过导磁体使一组高导磁金属丝显示一定的磁性，同样，另一组高导磁金属丝显示相反的磁性。相邻两根金属丝之间的空间产生受外部输入电信号控制的变化磁场。在没有外部输入信号时，含氧混合气体中的氧气分子受偏

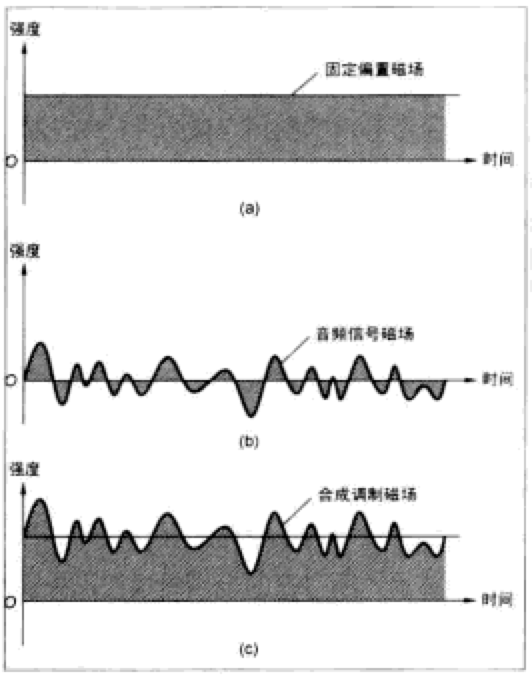


图24

置磁场的作用，向金属丝表面的空间聚集，使金属丝表面的局部空间的气体压力升高，并稳定在一定的数值，气体处于压缩状态。当有外部输入信号时，调制磁场发生与外部输入信号相一致的变化，当调制磁场与偏置磁场的方向一致时，其与偏置磁场合成的磁场强度变大，处于金属丝周围磁场空间的含氧混合气体中的氧气分子受到的磁场力增加，使细金属丝表面的局部空间的气体压力升高，处于相对压缩状态。当外部输入信号使调制磁场与偏置磁场的方向相反时，合成的磁场强度将变小，处于金属丝周围磁场空间空气中的氧气分子受到的磁场力减小，使气体的压缩程度减小，处于相对膨胀的状态。振动通过空气传播出去，形成声音，从而实现电声转换。由图可见，本技术方案完全取消了固体振膜，利用输入电信号形成的变化磁场所产生的电磁力直接对空气中的氧气进行控制，使其发生振动形成声音，实现最为直接简洁的电声转换（具体技术内容可到国家知识产权局网站检索查阅，专利号：CN201020014910.2）。

无振膜扬声器的优点主要有以下几点：（1）由于受力振动部分气体的质量近乎为零，整体受力均匀，所以可以以最快的速度响应外部输入控制信号的变化，其振动的幅度和波形可以与输入电信号波形保持一致，不存在振膜式电声转换装置的反应延迟、波形迟钝、波形过冲等现象。（2）其频响范围由于不受机械振动部件的振动特性的影响，可以远远超出人类听觉范围之外！而且频响特性非常的平直。（3）因为其最大机械尺寸不受限制，所以可以做成超大功率的单只发声单元，而不像现在的扬声器单元，由于受音盆最大制造尺寸大小的限制而存在最大功率限制，大功率应用时需要多只单元组合而成。（4）适当地改变高导磁细金属丝的布局方式，便可以得到人们需要的而普通扬声器很难达到的180°、360°等较特殊的声音辐射角度特性，使其方向性具有非常灵活的适应性。（5）由于不存在机械振动部分，所以不会像普通电动式扬声器那样，由于偶发性大幅度信号输入而对机械系统造成不可逆转的损害，从而使得设备的工作更为稳定可靠。（6）对环境的依赖性低，不需要额外配备庞大笨重的音箱，体积小，不会像纸质振膜扬声器那样，容易在潮湿环境中出现性能的改变、或振膜的霉烂而导致设备损坏，也不会像空气放电式扬声器那样对环境空气造成污染。由此可见本技术方案的频响范围宽、频响曲线平直、失真低，无需辅助发声箱体、无污染；体积和承受功率、输入阻抗、辐射角度特性都灵活可调，工作稳定可靠！只要利用科学合理的布局和精细的加工，防止高导磁金属丝在变化的磁场环境中可能发生的振动，并且提供足够强度的高质量控制磁场，这种技术方案的优势便可以得到充分的发挥，可使电声转换水平提高到了一个新的层次。

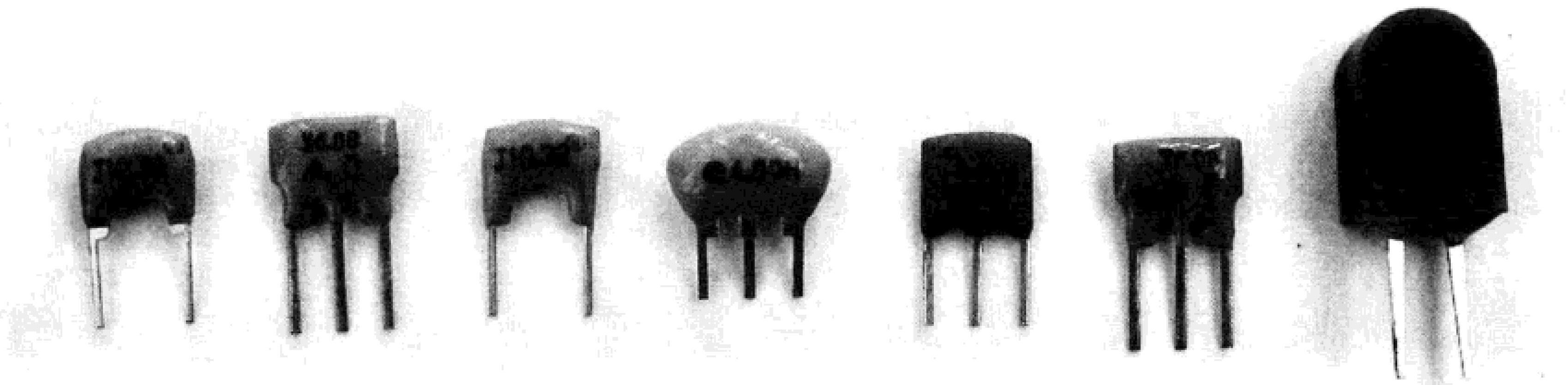
未来展望

早在1959年的美国物理学年会上，美国物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·菲利普斯·费曼（Richard Phillips Feynman）发表了《在底层还有很大空间(There is a plenty of room at the bottom)》的著名演讲。提出了一个新的想法：人类应该从分子、原子量级的层面直接进行精细的设备制造。迄今为之，我们人类从石器时代原始的磨尖箭头到当今高科技光蚀集成电路芯片的所有制造技术，都是在宏观的层面上，对由数以亿计的分子、原子组成的“物质块”的整体进行的“粗犷”型操作。这种操作模式有其技术、设备简单的优点，但同时也存在着操作不精准、效率低下、效果不理想等缺点。随着科学技术的进步，人类完全有可能从一个一个的分子甚至原子开始进行组装，以精准的达到我们的要求。有充分的理由让我们相信：随着人类在分子、原子尺度上的操控，制造技术的不断发展，我们完全有可能制造出更为先进的、直接对空气的分子进行控制、使其振动发声的“完美扬声器”，它的频响特性非常的平直，范围可以远远超出我们的听力范围，失真度近乎为零，功率可以根据人们的需要而设计得很小或很大，效率接近100%，指向性可以根据实际需要随意调整。

人类对于自然事物的探索永远是无止限的！人类对于美好生活的追求永远是无止境的！自从我们的祖先无意间发现一块普通的石头经过适当的敲打后便可以形成锋利的石刃，用它可以更轻易地分割猎物的那一刻开始，我们便开始了漫长而又执着的对自然事物的探索和对美好生活的不懈追求的过程！“上帝”留给我们的“谜题”被我们利用聪明才智，凭着永不放弃的韧劲一个一个地解开！扬声器就是其中的一个，今天的我们还不能说完全知晓了它的“谜底”！还需要我们像先辈们那样永不止步、永不言弃地去探索、去追求。成功可能不像我们想象的那么简单，但也不会像想象中的那样艰难！有充分的理由可以相信，在不远的将来，我们可以掌握更先进的电声转换技术，利用更小的体积、更简单的设备获得更真实、更完美的“天籁之音”！我们期待着那一天早日到来！

常用元器件的识别与使用（26）

◎张晓东



小巧可靠的陶瓷滤波器

陶瓷滤波器是采用具有压电效应的陶瓷材料生产而成的一种谐振元件，它具有选频特性，能使有用的频率信号通过而同时抑制(或大为衰减)无用的频率信号，在各种电子电路中广泛用作信号处理、数据传送和抑制干扰等。

陶瓷滤波器具有体积小、造价低、无需调试、插入损耗小、通频带宽、选择性好、幅频特性和相频特性好、性能稳定可靠等优点。生活中常用的收音机、电视机、录像机、手机等家电产品中，都可见到陶瓷滤波器的“身影”。下面向初学者介绍陶瓷滤波器的识别与使用方法。

如何识别陶瓷滤波器

1. 外形和种类

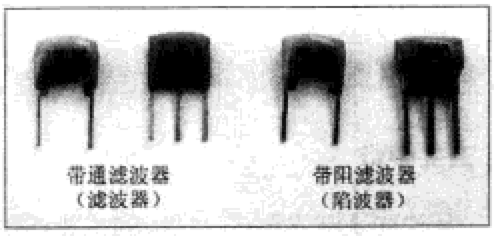
常见陶瓷滤波器按幅频特性不同，可分成图1（a）所示带通滤波器（又称滤波器）、带阻滤波器（又称陷波器）两类。带通滤波器的功能是让有限带宽内的频率信号顺利通过，而让此频率范围以外的频率信号受到衰减。带阻滤波器的功能是抑制某个频率范围内的频率信号，使其衰减，而让此频带以外的频率信号顺利通过。

陶瓷滤波器按引脚电极数目不同，可分成图1（b）所示的最常用的二端型、三端型两种，另外还有不常用的多端组合型。陶瓷滤波器大都采用塑壳封装形式，少数产品也用金属壳封装，其实物外形如图1（c）所示。

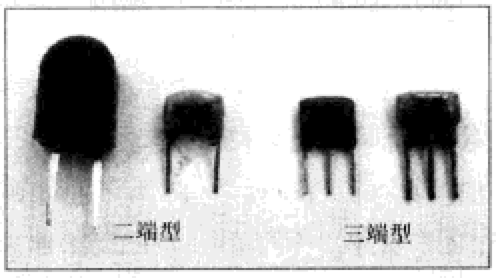
2. 结构及特点

陶瓷滤波器是采用压电陶瓷材料制成的具有“选频”特性的一种固体谐振元件，它与上一期介绍的石英晶振一样，也是利用压电效应工作的。压电陶瓷在未极化之前不具有压电效应，但经过极化处理后就会有非常高的压电常数，为石英晶体的几百倍。由于压电陶瓷的基本特性、等效电路等与石英晶振很相似，所以这里不再详细介绍。

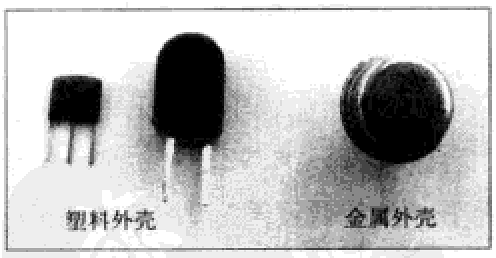
普通陶瓷滤波器的结构很简单：将锆钛酸铅（PZT）或钛酸钡（BaTiO3）等陶瓷材料做成薄片，再在两面敷上银层，然后夹在有弹性的两个金属电极之间，并封装在塑料（或金属）外壳内，即制成二端陶瓷滤波器。二端陶瓷滤波器可以等效成一个LC谐振回路，其谐振曲线尖锐，谐振电阻小，但和LC单调谐回路一样，存在着通带窄和矩形系数差的缺点。如果把



（a）按幅频特性划分



（b）按引脚数目划分



（c）按外壳材料划分

图1 常用陶瓷滤波器的分类

二端陶瓷滤波器的电极分割成互相绝缘的两部分，就构成了一个三端陶瓷滤波器。三端陶瓷滤波器可以等效成一个LC双调谐回路，因此它的通频带宽、矩形系数好，性能比二端陶瓷滤波器优越许多。

陶瓷滤波器的基本工作原理：首先

将电路的电信号通过压电陶瓷转换为机械振动，然后再将机械振动转换为电信号输出，即利用陶瓷材料的压电效应来实现“电信号→机械振动→电信号”的转化，并在转化过程中利用陶瓷材料固有的谐振特性达到“选频”目的。由于机械振动的频率响应很尖锐，故其Q值很高，能够达到几千甚至几十万，这是普通LC滤波电路所望尘莫及的。

陶瓷滤波器不仅机械Q值高，而且幅频和相频特性好、机电耦合系数大、温度系数小、体积小、信噪比高、稳定性好，现已被广泛应用在手机、彩电、录像机、收音机等家用电器及其他电子产品中，用作信号处理、数据传送和抑制干扰等。陶瓷滤波器用于取代部分电子电路中的LC滤波电路时，不仅体积小、免调试，而且能够大幅度提高整个电路的工作性能。

3. 主要参数

反映陶瓷滤波器产品性能的主要参数有标称频率、通带宽度、插入损耗、陷波深度、失真度、谐振阻抗、匹配阻抗等。初学者在选用及更换陶瓷滤波器时，只要注意其功能（或型号）和标称频率即可，其他参数可留待以后学习。需要指出的是，标称频率对不同功能的陶瓷滤波器来讲，其称呼也有所不同，如带通滤波器称“中心频率”或“标称中心频率”，带阻滤波器（陷波器）则称“陷波频率”。

4. 型号命名

国产陶瓷滤波器的型号命名遵循一般陶瓷元件的命名规则，其型号一般由五部分组成，格式和含义如图2所示。第一部分用字母表示产品功能，如“L”表示滤波器，“X”表示陷波器，“J”表示鉴频器，“Z”表示谐振器。第二部分用字母“T”表示生产材料为压电陶瓷。第三部分用字母“W”和下标数字表示外形尺寸，也有部分型号仅用字母“W”或“B”表示，而无下标数字。第四部分用“数字+字母（M或K）”表示标称频率，如465k表示标称频率为465kHz，10.7M则表示标称频率为10.7MHz。第五部分用字母表示产品类别或系列，有些产品省略了该部分，如LTW6.5M为中心频率是6.5MHz的陶瓷滤波器。实际上，大部分产品的型号命名中干脆省略了第三部分，大部分产品的外壳标志中又省略了第二部分的字母“T”。

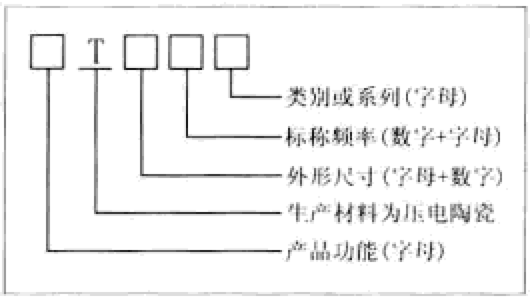


图2 国产陶瓷滤波器的命名规则

早期国产的陶瓷滤波器还有一种型号命名方法，这就是20世纪六七十年代国产的中、高档收音机里常用到的2L465A、3L465型陶瓷滤波器，其命名含义：“2”、“3”分别表示二端产品和三端产品，“465”表示滤波器的谐振频率为465kHz，“A”是生产序号。

由于现在许多厂家（包括外资厂商）生产的陶瓷滤波器，其型号命名规则是自行制订的，所以给人感觉是五花八门，没有规律可循。一般来说，使用者从产品的型号上只能看出标称频率，其他具体参数只能通过查阅产品手册或厂家说明书才能获得。表1给出了一些常用陶瓷滤波器的型号及性能参数，表2给出了一些常用陶

表1 常用陶瓷滤波器的性能参数

型号	中心频率	-3dB带宽(kHz)	-20dB带宽(kHz)	插入损耗(dB)	阻带衰减(dB)	匹配阻抗(Ω)	代换型号
LT465	465±1kHz	≥4		≤4			2L465LTX1
LT455	455±1kHz	≥7		≤6			
3L465	465±1.5kHz	≥4		≤6			LBC-2
LT5.5M	5.5MHz	±70		≤6		470	
LT6.0M	6.0MHz	±75		≤6		470	
LT6.5M	6.49MHz±40kHz	±80		≤6		500	
LT6.5MB	6.42MHz±30kHz	≥1801	≤630	≤6	≤25	510	SFE6.5MB
LT10.7MA	(10.7±0.03)MHz	280±50		≤6		510	
LT10.7MB	(10.67±0.03)MHz	280±50		≤6		510	
LT10.7MA	(10.73±0.03)MHz	280±50		≤6		510	
SFE6.5MB	6.5MHz	≥1801	≤630	≤6	≤6	470	LT6.5MB
A75417-AM	6.5MHz	≥1801	≤630	≤6	≤25	470	LT6.5MB
RFIL-C0027 CEZZ	6.5MHz	≥1801	≤630	≤6	≤25		LT6.5M LT6.5MB

表2 常用陶瓷陷波器的性能参数

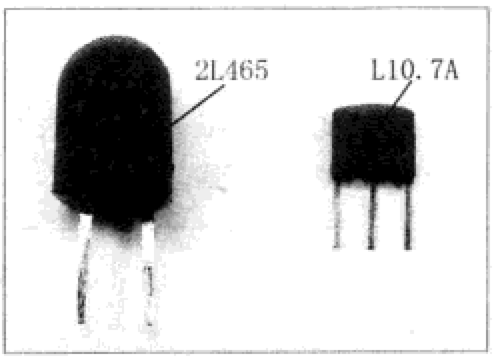
型号	陷波频率(MHz)	陷波深度(dB)	-30dB带宽(kHz)	绝缘电阻(MΩ)	代换型号
XT4.43M	4.43	≥20	≥30	100	
XT5.5MA	5.5	≥20	≥30	100	
XT6.0MA	6.0	≥20	≥30	100	
XT6.5MA	6.5	≥20	≥12	100	
XT6.5MB	6.5	≥30	≥60	100	TPS6.5MB
2TP4.5	4.5	≥20	≥30	100	XT4.5M
2TP6.5	6.5	≥30	≥70	100	XT6.5M
TPS4.5MB	4.5	≥30	≥50	100	XT4.5MB
TPS6.5MB	6.5	≥35	≥70	100	XT6.5MB

瓷陷波器的型号及性能参数，仅供参考。

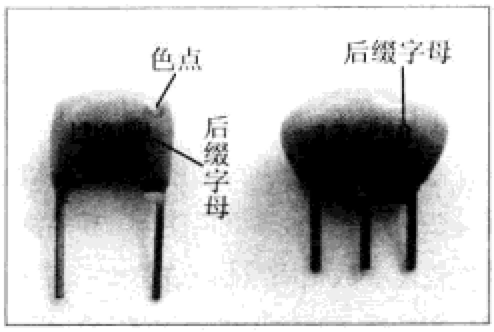
5. 产品标识

陶瓷滤波器的外形类似于独石电容器，它是在一块特定尺寸的压电陶瓷材料基片上引出2个或多个特定尺寸的电极后封装而成，特定的尺寸决定了其特性。由于常用陶瓷滤波器的外形跟其他元器件有着较为明显的区别，所以从外观大体上就能一眼识别出来。

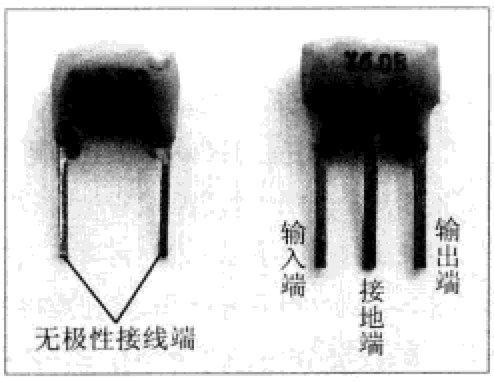
陶瓷滤波器的体积一般都很小，其外壳上一般都无法标出完整的型号，仅标出表示产品功能的单字母（有的在字母前边还标出了引脚数）和标称频率，有些产品还在标称频率后面缀有表示中心频率等的字母，如图3（a）所示。其中，不带小数点的频率单位为千赫兹（kHz），带有小数点的频率单位为兆赫兹（MHz）。例如，标志是“2L465”的二端陶瓷滤波器，它的标称频率是465kHz；标志是“L10.7A”的三端陶瓷滤波器，它的频率是10.7 MHz，后缀字母A（对应色点是红色）表示其中心频率为“10.70 MHz±30 kHz”。



(a) 看型号



(b) 看色点



(c) 看引脚

图3 陶瓷滤波器的识别方法

有些产品不仅在表示频率数字的后面缀上字母来区分中心频率，还同时在外壳表面点上不同的色点来区分中心频率，有些产品则只有区分中心频率的后缀字母，而无区分中心频率的色点，如图3（b）所示。色点和后缀字母代表的具体中心频率，因生产厂家、标称频率的不同而有所不同，具体应查看产品说明书。

根据引脚数目，可确定出二端型和多端型陶瓷滤波器，如图3（c）所示。对于普通二端型产品，其两个引脚无极性之分。三端型产品有输入端、输出端和接地端（多为中间引脚），使用时不能混淆。由于多端产品的引脚排列没有统一规定，所以使用时应查阅产品手册或厂家说明书进行区分。

如何使用陶瓷滤波器

1. 在电路图中的识别

陶瓷滤波器在电路图中的表示符号与石英晶振、压电陶瓷片（均属于“晶体换能器”）的表示符号相同，因此读图时要注意区别。除了看文字说明外，还可根据其在电路中的位置和作用进行推断。

2. 简易测试方法

业余条件下，通过直观查看来衡量陶瓷滤波器品质的标准是：外观应很整洁、无裂缝、引脚牢固可靠。除此以外，借助普通万用表可进行简单的检测，具体方法：将普通万用表拨至“R×10kΩ”或“R×1kΩ”电阻挡，红、黑表笔不分极性接触所测陶瓷滤波器的一对引脚，正常时万用表指针均应不动（即电阻值为无穷大）。若测出有一定阻值或阻值为零，则表明该陶瓷滤波器内部存在漏电或发生了短路故障。

需要说明的是，上述测得每对引脚间的电阻均为无穷大时，并不能完全确定所测陶瓷滤波器完好。也就是说，通过测量引脚间的电阻，只能判断陶瓷滤波器内部是否存在短路或漏电故障，而无法判断内部是否存在开路故障。为此，业余条件下可将所测陶瓷滤波器接入正常的工作电路，通过“代换法”进一步判断。还可用具有电容测量功能的数字万用表（如UT60E、DT889、VC9208、ET-1700型等）测量陶瓷滤波器的引脚间电容量。因为正常的陶瓷滤波器均存在着固有的电容量，而内部已经开路的陶瓷滤波器是几乎测不出电容量的。一般常用陶瓷滤波器的电容量在几十至上百皮法（pF）之间，而且三端陶瓷滤波器各引脚间的电容量往往是不一样的。显然，如果测得某一对引脚间的容量很小或根本无容量（可对比型号相同的新元件判断），则可确定被测的陶瓷滤波器内部已发生了开路故障。

3. 使用常识

陶瓷滤波器作为一种具有选频特性的高性价比谐振元件，主要用于选频网络、中频调谐、鉴频和滤波等电路中，可达到分隔不同频率电流的目的等。陶瓷滤波器体积小巧、性能优良、工作稳定可靠，用于取代部分电子电路中的LC滤波电路，可减小体积、免除调试，并使整个电路的工作更加稳定可靠。下面介绍一些使用陶瓷滤波器必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能。

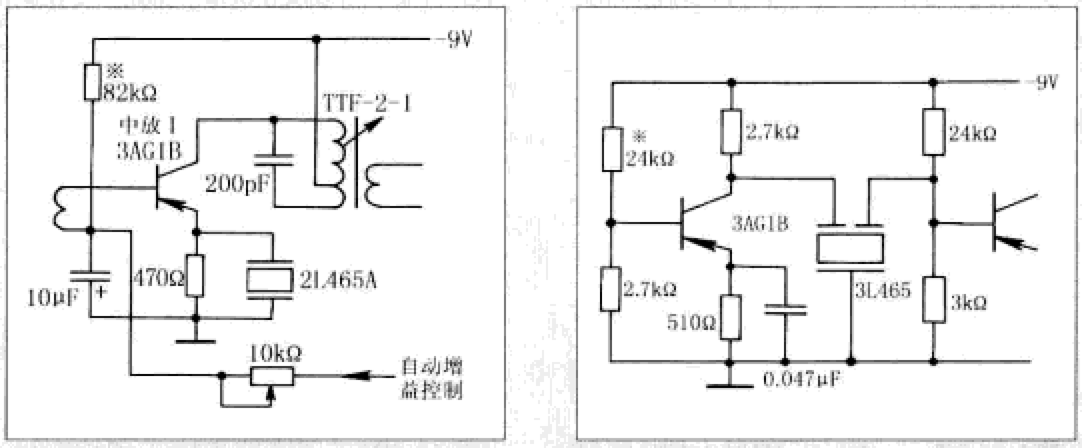
◆ 陶瓷滤波器品种很多，在实际应用时应首先按照电路的特点，确定是选用带阻滤波器（陷波器）还是带通滤波器（滤波器）、鉴频器等，是选用二端产品还是三端或多端产品。然后根据应用电路的具体要求，选择好标称频率、带宽等主要电

参数。当然，在使用之前还可对其进行必要的检测，以判断它是否能用。

一些型号的陶瓷滤波器应用比较普遍，初学者应熟记它们的标称频率和型号：彩色电视机中使用的带通滤波器，常用型号有LT5.5M、LT6.5M、LT6.5MA、LT6.5MB等；彩色电视机中使用的带阻滤波器（陷波器），常用型号有XT4.43M、XT5.5MA、XT5.5MB、XT6.0MA、XT6.0MB、XT6.5MA、XT6.5MB等；调频立体声收音机中使用的10.7MHz中频滤波器（陶瓷鉴频器），常用型号有LT10.7A、LT10.7MB、LT10.7MC等；调幅收音机使用的中频滤波器，常用型号有2L465、3L465、LT455、LT465等。

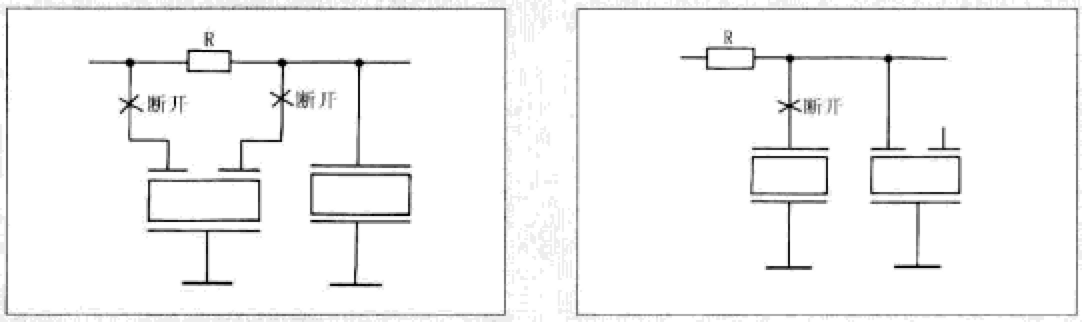
◆ 由于陶瓷滤波器的参数不能微调，加之生产时所存在的参数离散性和误差，所以相同型号的陶瓷滤波器的中心频率等参数并不完全相同。为此，当一个电路中使用多只同一规格的陶瓷滤波器时，应事先测量一下中心频率等参数，注意尽量选择中心频率相接近的产品使用，这样才能保证整个电路处于最佳的性能和工作状态。

◆ 陶瓷滤波器在实际应用电路中的接法灵活多样，图4给出了它们在普通超外差式收音机中频放大电路中的典型应用电路。一般二端陶瓷滤波器常接在第一中放的发射极电路取代原有的旁路电容器，如图4（a）所示。由于二端陶瓷滤波器对465kHz中频信号呈现极小的阻抗（相当于串联谐振），因此放大电路对465kHz中频信号负反馈小、增益大，从而提高了对465kHz中频信号的选择性。三端陶瓷滤波器则可直接取代原有双调谐回路的中频变压器，如图4（b）所示。由于三端陶瓷滤波器的体积小、重量轻、品质因数高，并且免调试，所以用于取代原有的中频变压器时，可显著提升和改善中频放大器的性能。



(a) 取代旁路电容器　(b) 取代中频变压器

图4 陶瓷滤波器在收音机电路中的应用



(a) 用二端代替三端　(b) 用三端代替两端

图5 陶瓷陷波器的互换用法

◆ 陶瓷滤波器的选频特性虽然略低于石英晶体滤波器，但也大大优于LC电路。在用三端或多端陶瓷滤波器取代收音机、彩色电视机等电路中的中频变压器时，要特别注意阻抗的匹配，否则选择性和通频带内的纹波系数将变坏。有的陶瓷滤波器插入损耗比较大，在取代中频变压器的同时，应注意适当提高中放增益，必要时可通过增加中放级数的办法来弥补损失。

◆ 陶瓷滤波器损坏后，最好选用相同型号的新品更换，其区分中心频率的后缀字母和色点也要保持一致，并注意不要弄错功能类型（不要将陶瓷滤波器、陶瓷陷波器、陶瓷鉴频器等混淆使用），否则会使电路不能正常工作或技术指标达不到要求。另外，必须选用正规厂家生产的产品，以防止出现质量问题。

◆ 陶瓷陷波器的作用是阻止或滤掉有害电信号对电路的影响，它具有良好的选频性能。例如，彩色电视机中常用6.5MHz和4.43MHz的陶瓷陷波器分别来抑制伴音、副载波信号对图像的干扰。在业余制作或家电维修时，如果找不到合适的陶瓷陷波器，作为应急办法，可以将二端陶瓷陷波器与三端陶瓷陷波器互换使用。互换首先要在性能参数相同或相近的条件下进行。用二端代换三端的接线如图5（a）所示，用三端代换二端的接线如图5（b）所示。

◆ 陶瓷滤波器怕震动、怕高温、怕冲击，无论使用还是保存，都要注意避免有可能造成的损伤。如果电路板上面焊接有陶瓷滤波器，就不能用超声波进行电路板清洗，否则会损坏陶瓷滤波器。焊接陶瓷滤波器时电烙铁的温度不得过高，并注意用镊子夹住陶瓷滤波器的引脚根部，以帮助散热。

AVR Studio 4 入门简介

◎董庆源

MCS-51架构单片机以其经典的结构和众多的配套开发软件一度成为大多数单片机初学者的首选，但在实际工程应用当中，随着控制需求的不断提升，51的不足之处也逐渐显露，如速度、抗解密性能、稳定性等。如今一些与51架构完全不同的新型单片机已经成为单片机应用领域的主力军，这其中ATMEL公司的AVR系列单片机就是一个代表，它的片内资源极为丰富，产品型号众多，有部分产品引脚还与51完全兼容，这就为它的应用带来了很大的选择空间。AVR单片机的编程语言也有汇编语言和C语言两种。下面结合我的使用体会谈谈AVR Studio 4的入门知识。

软硬件准备

学习单片机的知识需要理论联系实践，先准备好学习AVR单片机应用所需要的硬件和软件。

1．电脑是必须的，否则程序无法输入和编译下载。

2．下载器或仿真器。我参照网上的电路，利用ATmega8自制的USB接口ISP下载器，如图1所示。网上购买的USB接口JTAG仿真器，如图2所示。两图对比，可以明显看出，JTAG仿真器的电路密度比ISP下载器要复杂得多，所以ISP下载器价格便宜些，只能将程序下载到单片机中。而JTAG仿真器价格较高，但它既能下载程序也能实现在线硬件仿真。如果刚开始调试的程序比较简单，只用ISP下载器就可以了。如果将来调试的程序较为复杂，再用JTAG仿真器进行在线仿真运行调试。

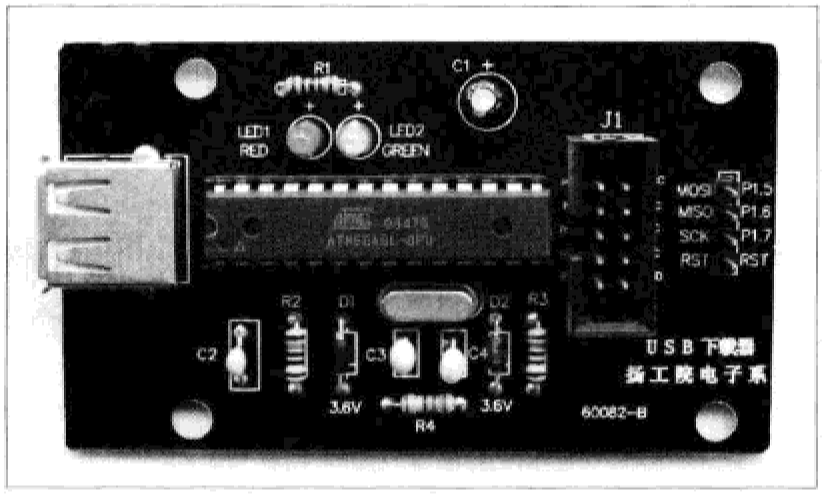


图1 自制的ISP下载器

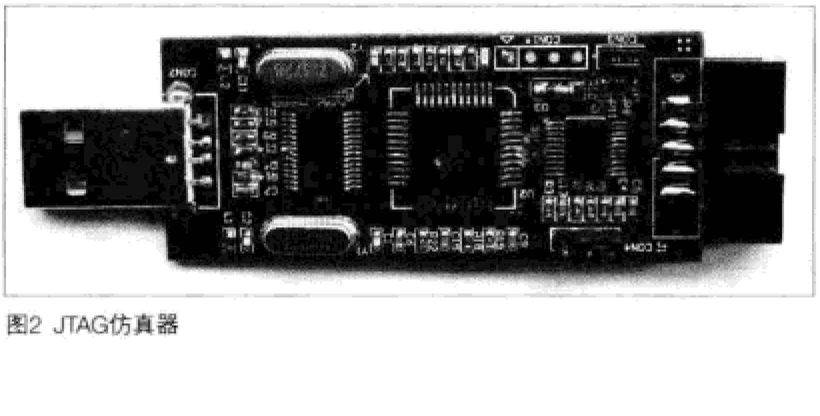


图2 JTAG仿真器

3．开发板或实验板。可以从网上购买功能比较齐备的AVR单片机实验板，也可以自己搭建最小系统，或者对51单片机实验板的复位电路稍加改造，直接插装ATmega162、ATmega8515等与51引脚完全兼容的AVR单片机进行学习、实验。

4．软件方面包括：AVR Studio 4（4.14或以上版本）、WINAVR（1.41或以上版本）。AVR Studio 4是ATMEL公司官方的8位AVR单片机集成环境汇编及开发调试软件，完全免费。它集成了汇编语言编译、软件仿真、芯片程序下载、芯片硬件仿真等一系列基础功能。如果要用AVR Studio 4进行高级语言开发，还必须与另外的高级语言编译器相结合，如与WINAVR结合可进行C语言应用开发。

软件安装和文件夹新建

1．安装软件。先安装WINAVR，再安装AVR Studio 4，必须按照默认目录安装，否则会影响使用。安装好后可以删去WINAVR在桌面上生成的几个快捷方式。如果你只是用汇编语言进行编程，只安装AVR Studio 4就行了。如果要用AVR Studio 4进行C语言编程，就需要内联安装WINAVR。我个人认为还是两款软件都安装，免得哪一天想进行C语言编程还要重新安装，现在的电脑配置都比较好，多安装一个软件应该没有问题。

2．建立工程和源程序存放的文件夹。特别说明，不可以将其建立在桌面上，因为在编译过程中，工程存放路径名中不能出现中文，同时文件夹和源程序名称中也不可以出现中文，否则编译会出错，无法生成HEX文件。一般可在D盘或E盘根目录下建一个如EXAVR等英文名称的文件夹。

AVR 汇编工程新建及编译

完成了上述准备工作，我们就可以正式开始AVR之旅。AVR Studio 4和Keil C有很多相同之处，最明显的共同点是：都以工程项目作为编译对象。但Keil C可以在同一个工程下添加汇编源程序或C程序，都能编译产生HEX文件。AVR Studio 4在新建工程时就必须区分是汇编工程还是GCC工程，我们就先以汇编为例，说明新建工程和源程序到产生HEX文件的方法和步骤，然后在此基础上再说明GCC工程的建立和后续操作方法。

第一步：启动AVR Studio 4。双击桌面上“AVR Studio 4 ”的快捷操作图标。

第二步：新建工程。在出现的图3对话框中作如下选择：

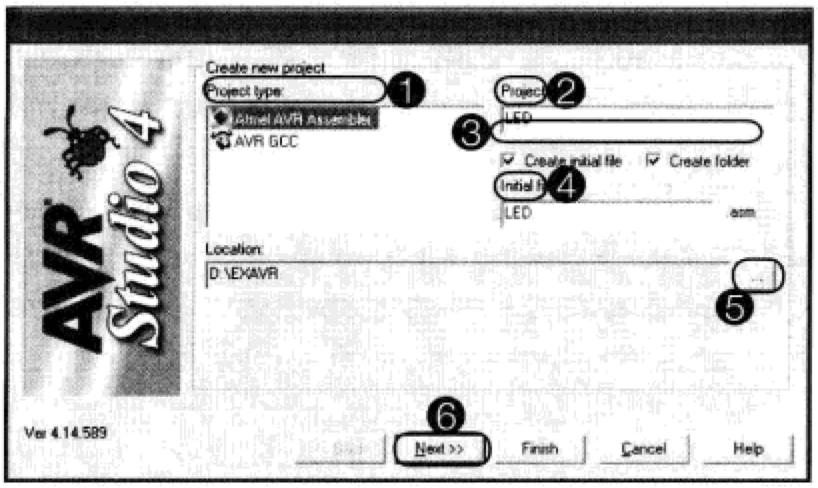


图3 新建工程对话框

❶“Project type（工程类型）”选项：选择Atmel AVR Assembler。

❷“Project name（工程名称)”选项：输入工程名称，如LED 等英文字符串。

❸在工程名称选项下的两个单选框一般保持选中状态。Create initial file——创建初始文件，Create folder——创建文件夹。这两个选项帮助你在新建工程项目的同时，新建一个源程序，然后将它们放到一个与新建工程同名的文件夹中，这样便于你管理。

❹“Initial（初始文件）”选项：输入文件名，默认与工程同名，可更改。

❺“Location”项：点击右侧的路径选择按钮，找到刚刚新建的工程和源程序保存文件夹，图中是保存在D盘根目录下的EXAVR文件夹中。

❻按“Next”进入下一步。

第三步：选择调试平台和器件。对话框如图4所示。

❶“Debug platform（调试平台）”选项：选择“AVR Simulator（AVR仿真器）”。

❷“Device（器件）”选项：选择“ATmega 16”。

❸按“Finish”完成新建工程。

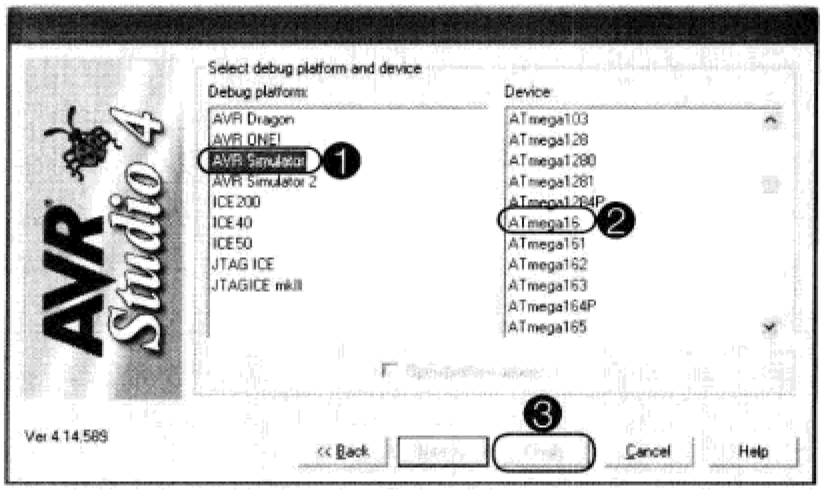


图4 调试平台和器件选择

第四步：源程序编辑和工程编译。窗口界面如图5所示。

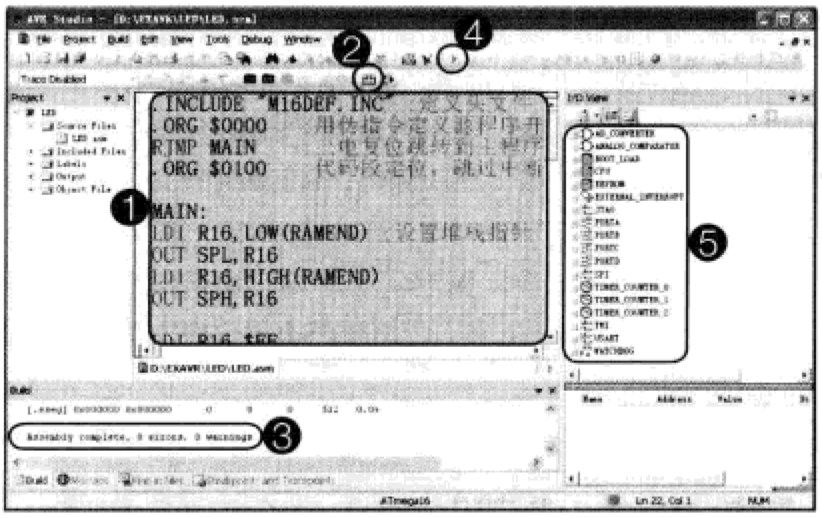


图5 源程序编辑和工程编译界面

❶在编辑区输入源程序。

❷指向的是“编译”按钮，点击进行工程编译，生成HEX文件。

❸指向的是输出区信息提示，了解编译结果，如看到“0 errors,0 warnings”表示没有错误，同时生成了HEX文件，就可以用ISP下载软件将HEX文件下载至单片机。

❹指向的是仿真运行按钮，点击后会以单步或连续的方式进行仿真，但和硬件状态不对应，因为这只是用AVR Studio 4的仿真功能进行纯软件仿真，硬件仿真要连接JTAG仿真器并进行相应设定才能观察到同步运行现象，在后面我会说明。

❺指向的是 I/O 端口状态显示区域，在软件仿真时可观察相应的端口数值变化。

AVR GCC工程新建及编译

第一步：启动AVR Studio 4。

第二步：显示界面与汇编工程新建相同，注意在图3中的图标❶区选择“AVR GCC”选项，其它选项操作相同。

第三步：选择调试平台和器件。根据实际情况进行设定。

第四步：工程配置选项设定。点击菜单Project→Configuration options子项，进入工程配置选项设定界面。

1. 点击图标a（General 一般选项）的设置页面如图6所示。

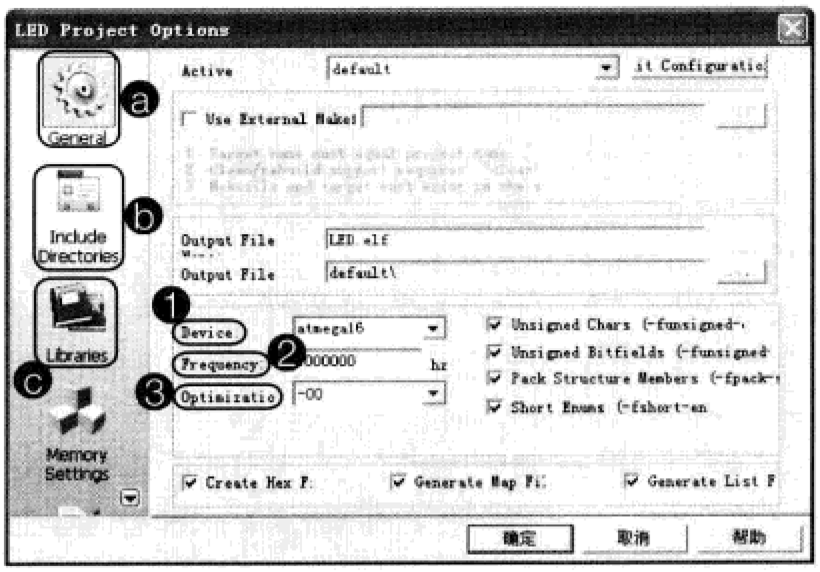


图6 GCC工程配置中一般选项的设定界面

❶“Device” 器件——选择所用的AVR单片机芯片，我用的是Atmega16。

❷“Frequency” 频率——输入时钟信号频率。

❸“Optimization” 优化选项——选“-O0”表示“无优化”就可以了，GCC学习初期，程序一般比较简单，无需优化。其他所有选项默认即可。

2. 点击图标b（Include Directories 包括目录）的设置页面如图7所示。

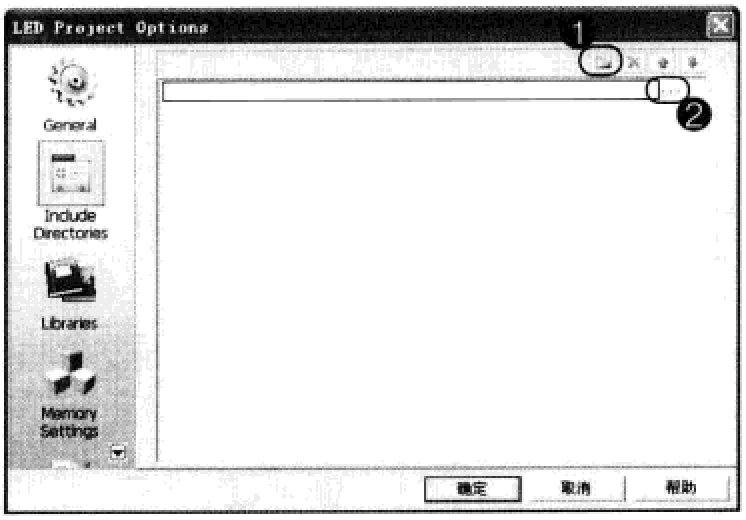


图7 GCC工程配置中包括目录的设定界面

❶指向的是文件夹图标，点击会出现❷指向的3个小点按钮和左边的输入框。

❷按照“C:\WinAVR\avr\include\avr\”的路径找到WINAVR软件安装后生成的包括目录位置。

3. 点击图标c（Libraries库）的设置页面如图8所示。

❶指向的是文件夹图标，点击后会出现❷指向的3个小点按钮和左边的输入框。

❷按照“C:\WinAVR\avr\lib\avr5\”的路径找到WINAVR软件安装后生成的库文件存放位置。

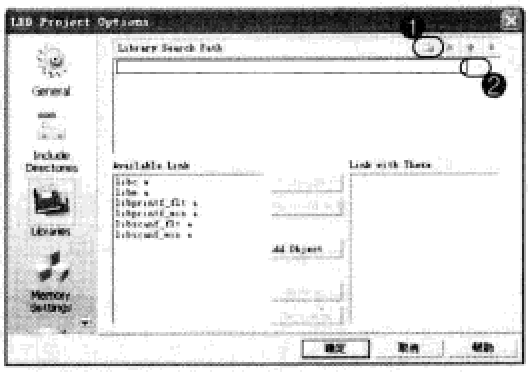


图8 GCC工程配置中库文件查找路径的设定界面

以上General、Include Directories、Libraries三项内容全部设定好后，按“确定”就可以进入下一步了。

第五步：GCC源程序输入及工程编译。界面如图9所示。

❶指向的是编辑区输入C语言源程序。

❷指向的是工程编译按钮。

❸指向的是输出信息区，如看到“Build succeeded with 1 warnings”表示工程编译完成，有1个警告。警告不影响编译生成HEX文件，当然没有警告更好。

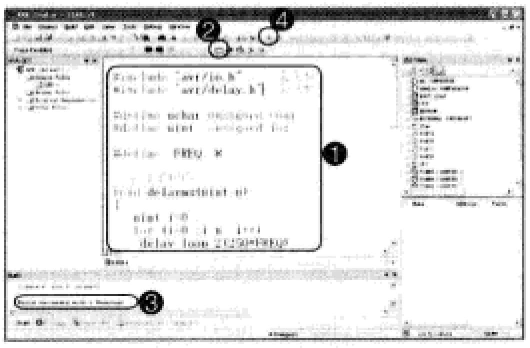


图9 GCC源程序输入及工程编译界面

❹到这里就可以将生成的HEX文件下载到单片机，也可以点击图标❹指向的按钮进行仿真运行。

JTAG接口编程

第一步：将USB转串口的JTAG仿真器连接到电脑前端USB口，安装好驱动。用鼠标右键单击我的电脑→属性→硬件→设备管理器→端口，应该能看到除了COM1之外的一个COM口，要注意后缀编号不要超过4，如果超过请换一个USB口连接。

第二步：用连接排线将JTAG仿真器输出插座与AVR单片机的JTAG接口相连。

第三步：如图10所示，点击图标❶指向的Connect连接按钮，会出现图11所示的界面。

图10 GCC工程界面

第四步：如图11所示，选择图标❶指向的JTAG ICE选项，图标❷指向区为连接端口选择区，根据实际连接的COM口进行选择，我是将仿真器接在COM4口，然后点击图标❸指向的“Connect连接”按钮，如果通信正常，就会出现JTAG在系统编程界面，如图12所示。

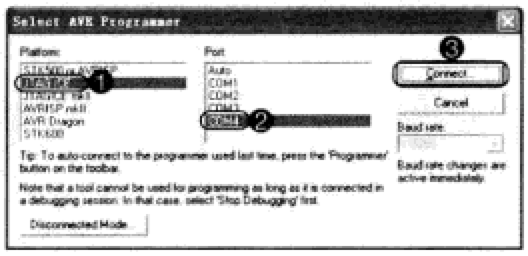


图11 JTAG ICE连接确认

第五步：JTAG编程。如图12所示的图标为操作步骤。

❶ 是Erase Device——擦除器件。

❷ 是添加按钮，加载HEX文件。

❸ 是Program——编程。

❹ 是提示信息表明编程成功，应该能看到单片机控制效果。

❺ 如果需要编程熔丝位，点击图标 ❺ 指向的标签进入熔丝位编程页面。熔丝位编程请慎用，如果设置错误会导致单片机锁死，就必须使用专用的并口编程器进行解锁了，所以一定要核实清楚需要编程的熔丝位状态。

❻ 如果要对单片机再次进行JTAG编程，保持JTAG仿真器连接状态，可直接点击图10中的图标 ❷ 指向的按钮，直接进入如图12所示的编程界面，按顺序重新操作一遍。

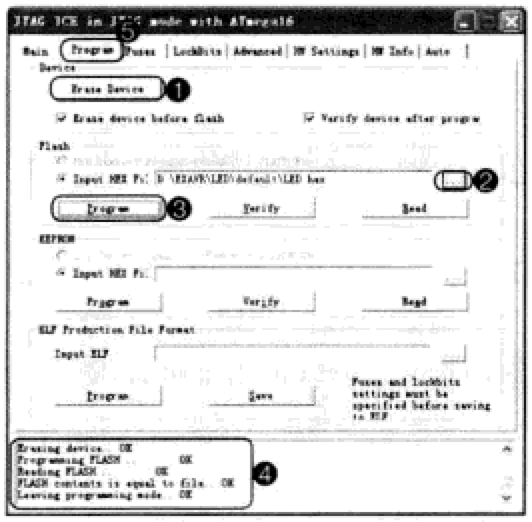


图12 JTAG系统编程界面

JTAG接口仿真

JTAG 仿真功能是很实用的一个配置，相当于单片机内置了一个硬件仿真器，只是占用了 4 个引脚，要实现 JTAG 接口硬件在线仿真，首先要完成 JTAG 接口编程的操作，将 HEX 文件下载到单片机内。然后按照下面的顺序设定连接就可以了。

第一步：关闭JTAG编程对话界面，点菜单Debug→Select Platform and Device子项，进入调试平台和器件选择界面，如图13所示。

❶ 选择JTAG ICE选项。

❷ 选择ATmega16。

❸ 点击Finish按钮，完成设定。

❹ 如果通信正常，这个对话界面会消失，这时就可以点击图9中图标❹指向的绿色仿真运行快捷按钮，进入如图14所示的硬件在线仿真界面，此时单片机会自动停止当前程序的运行，处于待命状态。这个仿真界面和软件仿真界面相同，但在这个界面之下指令执行和硬件状态是同步的。而要是使用ISP下载完成后，单片机自动运行而编程者无法实时控制，正因为如此，JTAG功能才得到众多编程者的青睐，在调试程序时能起到很好的辅助作用。

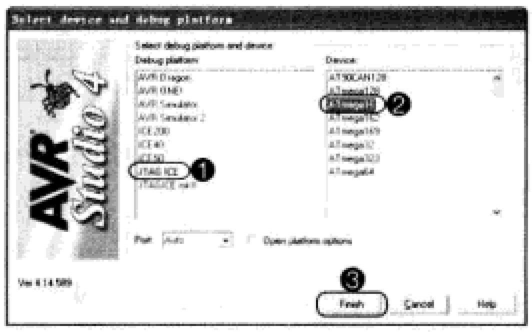


图13 Select Platform and Device界面

如果不能正常连接JTAG仿真器，会弹出如图15所示的对话框，让你重新连接或取消。连接失败的原因是多种多样的，有的是因为排线接触不良，也有的是单片机的JTAG引脚焊接不正确，总之耐心查找是能找出问题所在的！

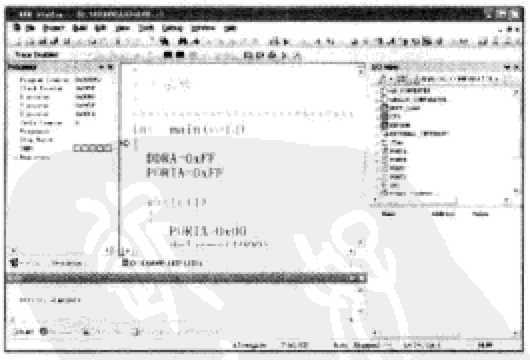


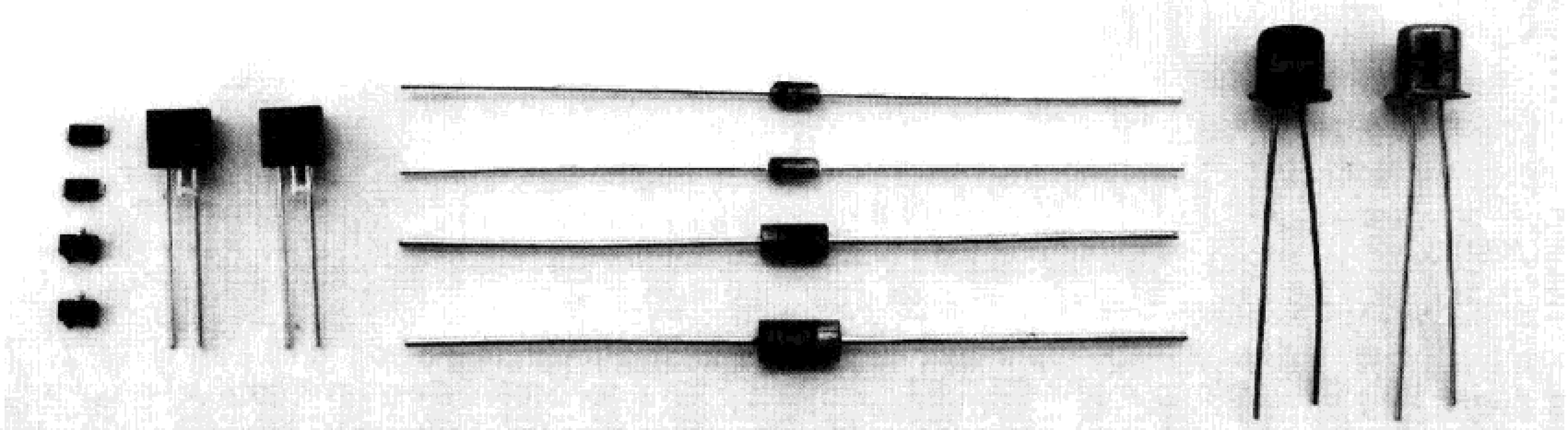
图14 JTAG ICE仿真界面

本篇文章只是AVR Studio 4软件的入门讲解，大家还可以通过网上查找相关资料继续深入学习。

图15 JTAG ICE连接失败界面

常用元器件的识别与使用（27）

◎张晓东



接线简便的恒流二极管

大家对稳压二极管很熟悉，有读者就会问，既然有稳压二极管，那么有没有稳流二极管呢？答案是肯定的，但通常不把这种器件叫稳流二极管，而是叫恒流二极管。

恒流二极管（英文缩写为CRD）简称“恒流管”，是一种能在很宽的电压变化范围内提供恒定电流的半导体两端器件，它具有直流等效电阻低、交流动态电阻高、温度系数小等特点。恒流二极管在电路中主要用于稳定和限制电流，当出现电源电压供应不稳定或是负载电阻变化很大的情况时，它都能确保电路工作电流的稳定不变。

恒流二极管以其体积小、造价低、恒流性能好、使用简便、可靠性高等优点，目前已被广泛用于各种电源设备、工业自动化控制装置、仪器仪表、音响设备、通信设备、LED照明灯等电路中。

如何识别恒流二极管

1. 外形及种类

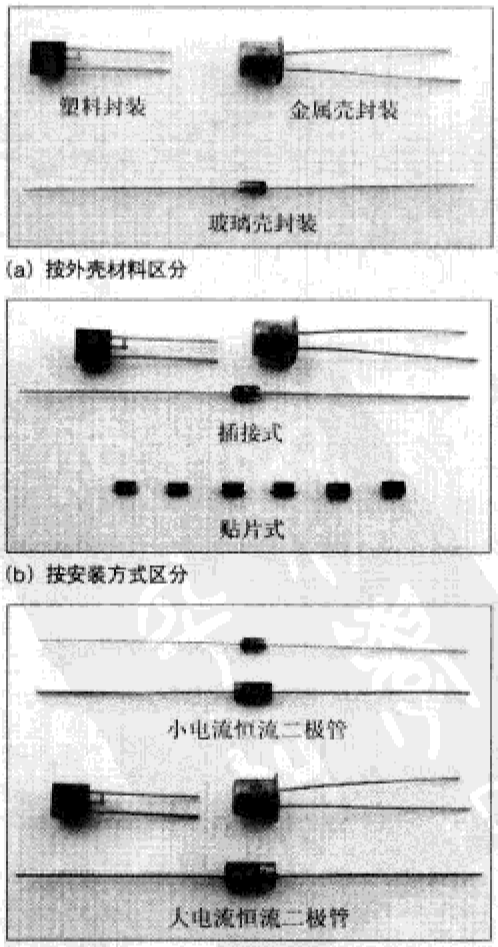
常见恒流二极管分类如图1所示。

近年来，LED照明灯作为节能降耗、长寿命的光源，得到了迅速开发和推广。恒流二极管作为LED驱动电路经常采用的一种恒流源器件，也得到了快速研发，呈现出向多规格、大电流方向发展的趋势。目前，单个大电流恒流二极管的恒定电流已突破100mA，国内最新开发的产品已经达到300mA，以适应LED照明灯功率不断增加的需求。

2. 型号命名

国产恒流二极管的型号命名遵循了普通半导体器件的命名规则，其型号一般由五部分组成，格式和含义如图2所示。第一部分用数字“2”表示二极管，第二部分用汉语拼音字母表示管子的材料和极性，如“D”为硅P型材料。第三部分用汉语拼音字母“H”表示恒流管。第四部分用数字表示恒流值，单位是毫安（不标），并且数字前面有“0”，表示该数字是小数点后面的有效数字。例如，2DH01B、2DH10C恒流二极管的恒流值分别为0.1mA（100μA）和10mA。第五部分用汉语拼音字母表示产品击穿电压（耐压）的分挡，规定A≥20V、B≥30V、C≥40V、D≥50V……有些产品省略了该部分。表1给出了一些常用国产2DH××系列恒流二极管的型号及性能参数，仅供参考。

由于当今许多厂家（包括外资厂商）生产的恒流二极管，其型号命名规则多是自行制订或者参照了国外产品的命名方



(a) 按外壳材料区分

(b) 按安装方式区分

(c) 按恒定电流区分

图1 常用恒流二极管的分类

法、所以型号命名规律各不相同。表2给出了一些常用的恒流二极管的性能参数。一般来说，使用者从产品的型号上只能看出大致的恒流值，要获得具体的恒定电流、饱和电压、击穿电压等参数，只能通过查阅产品手册或厂家说明书才行。

3. 产品标识

恒流二极管作为一种两端结型场效应恒流器件，它只有一正一负两个引脚，其外形与普通小型晶体二极管完全相同。部分产品外壳封装与小型晶体三极管一样，不同处在于只有两个引脚。

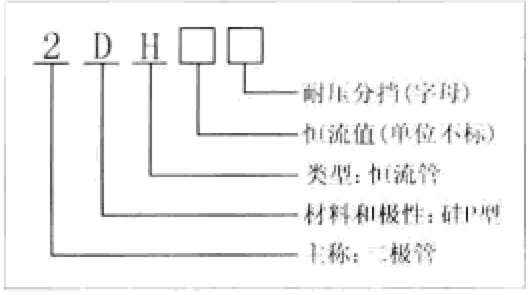
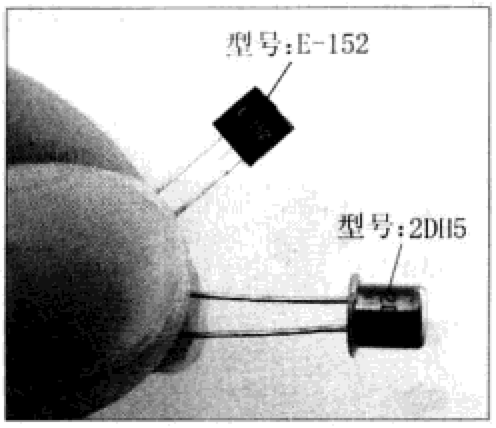


图2 国产恒流二极管的命名规则

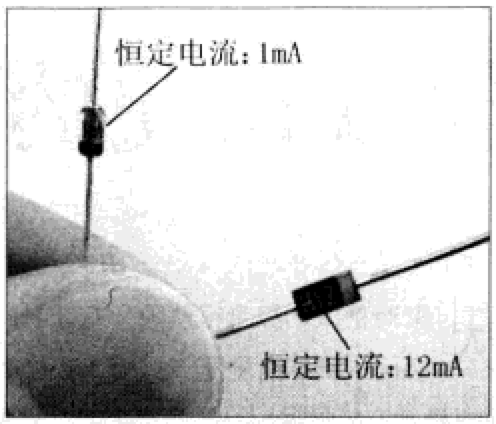
由于恒流二极管的体积一般都很小，所以大多数情况下只在管体上标出型号或缩略的型号，如图3（a）所示，有的体积小的恒流二极管仅标出恒流值（例如标出“H12”表示该管的恒流值为12mA），如图3（b）所示。要想进一步了解恒流二极管的有关参数，就得查看厂家的产品说明书。

需要说明的是，对于一个具体的恒流二极管，它的恒流值是一个确定值。不同型号的恒流二极管，恒流值一般是不同的。同一型号的恒流二极管，由于制造上的离散性，每一只管子的实际恒流值并不一定完全相同，而是分布在一个范围之内。例如，表1中国产2DH2～2DH7型恒流二极管的标称恒流值，允许误差为±0.5mA。

根据恒流二极管的外壳标志或封装形状，可以区分出两引脚的正、负极性来。图4所示是常用恒流二极管的引脚识别方法。由图可知，恒流二极管两引脚



(a) 标出型号



(b) 标出恒流值

图3 常用恒流二极管的标注方法

表1 国产2DH××系列恒流二极管的性能参数

型号	恒定电流 I_H(mA)	饱和电压 U_S(V)	动态电阻 R_H(MΩ)	型号后缀字母所表示的击穿电压分挡(V)
2DH00	≤0.05	<0.5	≥8	
2DH01	0.1±0.05	<0.8	≥8	
2DH02	0.2±0.05	<1.5	≥5	
2DH03	0.3±0.05	<1.5	≥5	
2DH04	0.4±0.05	<2	≥2.5	
2DH05	0.5±0.05	<2	≥2.5	
2DH06	0.6±0.05	<2	≥2.5	
2DH07	0.7±0.05	<2	≥1.5	
2DH08	0.8±0.05	<3	≥1.5	A≥20 B≥30 C≥40 D≥50
2DH09	0.9±0.05	<3	≥1	
2DH1	$1^{+0.5}_{-0.05}$	<3	≥1	
2DH2	2±0.5	<3	≥0.5	
2DH3	3±0.5	<3.5	≥0.4	
2DH4	4±0.5	<3.5	≥0.3	
2DH5	5±0.5	<4.5	≥0.25	
2DH6	6±0.5	<4.5	≥0.15	
2DH7	7±0.5	<5	≥0.15	

表2 常用恒流二极管的性能参数

型号	恒定电流 I_H(mA)	饱和电压 U_S(V)	击穿电压 U_B(V)	动态电阻 R_H(kΩ)	说明
S-101T	0.10	0.5	100		主要用于驱动0.5W以内的LED照明或指示灯，以及用于稳压源、放大器、电子仪器的保护电路等
S-301T	0.30	0.8	100		
S-102T	1.00	1.7	100		
S-152	1.50	2.0	100		
S-562T	5.60	4.5	100		
S-103T	10.0	3.5	50		
S-183T	18.0	4.6	40		
L-1822	20	3.9	30		主要用于大功率LED照明电路等
L-2227	25	4.0	30		
L-27-33	30	4.2	25		
2DHL020	20～25	≤3.5	40	12	专用于LED照明、LCD背光电路，也适用于便携式电子设备、数码产品、通信设备、仪器仪表等产品
2DHL025	26～33	≤3.5	40	12	
2DHL030	31～34	≤3.5	35	10	
2DHL035	35～38	≤3.5	35	10	
2HDL040	40～46	≤3.5	35	8	
2DHL050	50～56	≤3.5	35	8	
2DHL060	60～67	≤3.5	25	6	
2DHL070	70～75	≤3.5	20	6	
2DHL080	80～85	≤3.5	20	5	
2DHL110	110～125	≤3.5	20	4	
2DHL130	130～160	≤3.5	20	4	
2DHL200	190～220	≤3.5	20	4	
2DHL300	270～350	≤3.5	20	4	

的正、负极识别方法，与普通晶体二极管完全相同。

如何使用恒流二极管

1. 简易测试方法

业余条件下，通过直观查看来衡量恒流二极管品质的标准是：外观应很整洁、无裂缝、引脚牢固可靠。除此以外，借助普通万用表可进行简单的检测，具体方法：按照图5（a）所示，将普通MF50型指针式万用表（或其他万用表）拨至“R×10Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性接所测恒流二极管的一对引脚，正常时万用表指针读数应在几十至几百欧姆之间。并且正、反两次测量中，电阻值相对较大的那次，黑表笔所接引脚应为被测恒流二极管的正极，红表笔所接引脚应为负极。据此可区分出极性标识不清楚的恒流二极管的正、负极性。如果测量时万用表指针始终不动，说明恒流二极管内部已经开路，如果万用表指针读数几乎为零，则说明被测恒流二极管内部已短路或击穿。

恒流二极管的恒流值可按图5（b）所示的搭接电路来进行测量。注意：被测恒流二极管的极性不得接反，否则容易烧毁管子并损坏万用表。所用电池电压也可以是6V。万用表选择直流电流测量挡，由于常用恒流二极管的恒流值一般多在30mA以下（最近才开发出超过100mA的产品），所以万用表的量程根据需要可选择“直流25mA”或“直流2.5mA”、“直流100μA”挡。如果不清楚被测恒流二极管大致的恒流值，应遵循“由大到小”的挡位选择原则，先用大挡位（如“直流250mA” 挡）进行初测，然后根据初测结果再换到适当的量程进行准确测量，以免损坏万用表。

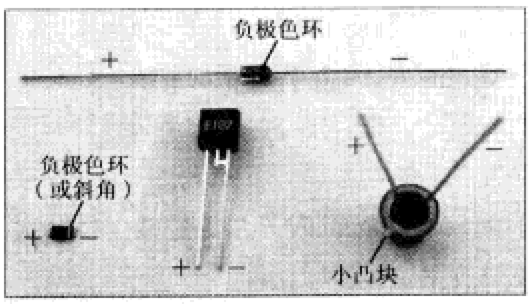


图4 常用恒流二极管引脚的识别

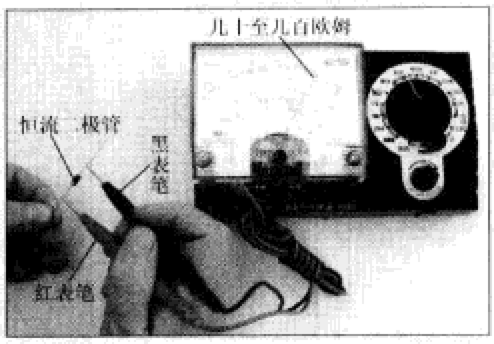
2. 使用常识

下面介绍一些使用恒流二极管时，所必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能：

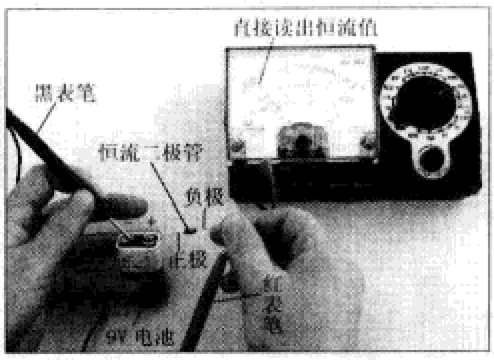
◆ 电路中的恒流二极管损坏后，应用相同型号的管子进行更换。如无相同型号的管子可换，可用电参数相同的其他型号的恒流二极管进行替换。具体的替换要点是，所替换上去的管子的恒定电流I_H应与原恒流二极管相同，而击穿电压U_B则要相等或比原管更大些。

由于制造上的离散性，同一型号的恒流二极管的恒定电流值一般只是相近，而不完全相同，比如2DH5型恒流二极管的恒定电流在4.5～5.5mA，这就是说，如果把一个2DH5型恒流二极管接到电路中，它的实际恒定电流值正好与标称值相同为5mA，当换一个同型号的管子时，它的恒定电流也许是4.5mA、也许是5.5mA。可见，在调换恒流二极管时，必须要注意到这一点。如果所调换的恒流二极管恒定电流值比原管小许多，可参考图6（a）所示，通过并联一个小恒定电流值的恒流二极管来弥补不足。

◆ 目前生产的恒流二极管，恒定电流IH最小的有几十微安、最大的仅上百毫安。当需要较大的恒定电流时，可采用图6（a）所示的并联法获得。其输出电流为各并联恒流二极管恒定电流之和，饱和电压等于各管子中的最大值，而击穿电压则等于各管子中的最小值。此外，并联后的动态电阻将变小。实际应用时，并联连接恒流二极管的数量一般不受限制。比如：18mA的产品5个连接起来的话，就可以得到90mA的大电流。如果需要大幅度增加恒定电流，还可采用图6（b）所示的电路获得，它可把恒定电流I_H扩大为原来的

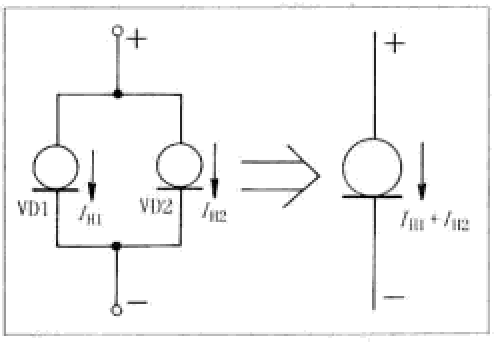


(a) 测电阻值

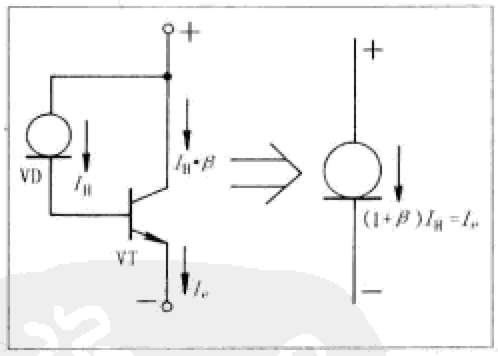


(b) 测恒流值

图5 恒流二极管的检测方法



(a) 方法一



(b) 方法二

图6 恒流二极管的扩流法

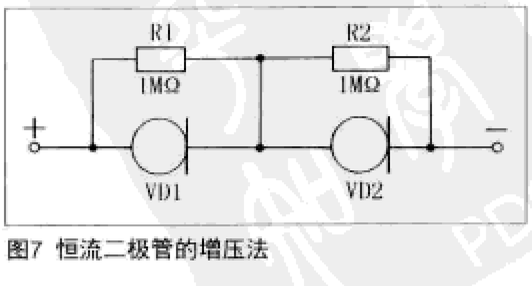
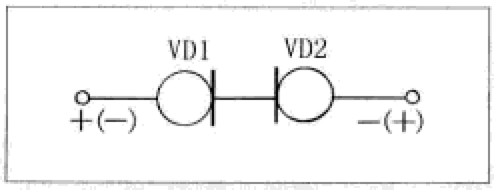
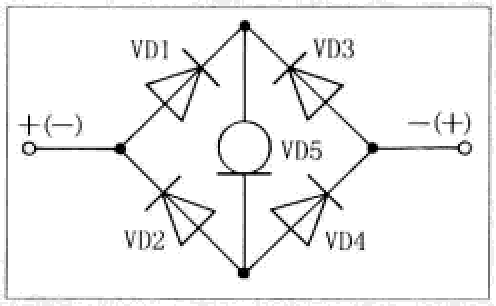


图7 恒流二极管的增压法

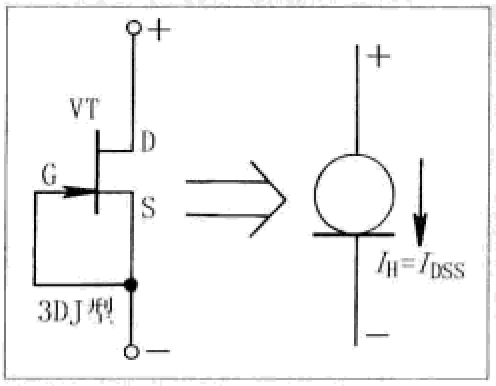


(a) 方法一

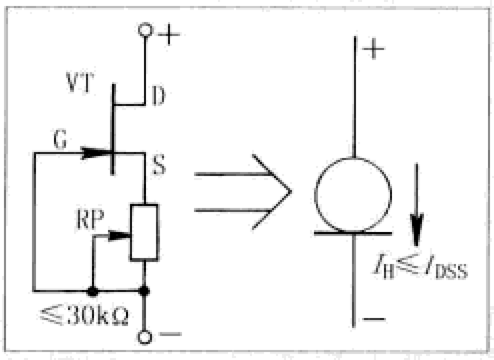


(b) 方法二

图8 双向恒流二极管的获得



(a) 方法一



(b) 方法二

图9 恒流二极管的代用

β倍。β为晶体三极管VT的直流电流放大系数。由于温度变化时β值会随之变化，从而会导致恒定电流也发生变化，所以此电路的温度系数相对于单个恒流二极管来讲，要差一些。

◆ 单个恒流二极管的击穿电压U_B一般在20～100V。实际应用中，如果需要在更高电压的电路中工作，可以按图7所示，将两个（或更多个）参数相同的恒流二极管串联起来，并在每个串联管子的两端都并接上均压电阻器R1、R2。这样，总的击穿电压等于各串联恒流二极管击穿电压之和，恒定电流为单个管子的恒定电流。R1、R2的取值一般应大于1MΩ。

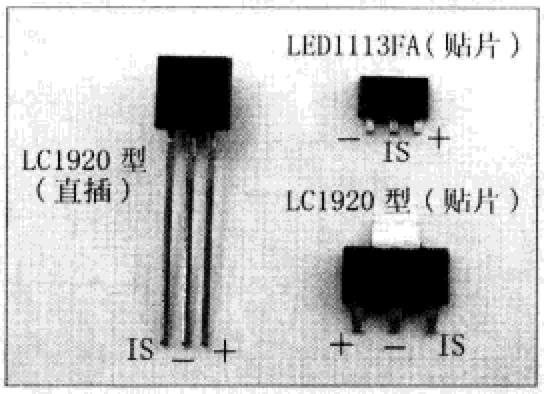
◆ 如果需要具有双向恒流特性的恒流二极管，可采用图8所示的电路获得。在图8（a）中，VD1、VD2两只恒流二极管反向串联，利用恒流二极管反向连接时，其特性相当于一只正向的PN结，它只稍微影响加在另一管上的电压，而不会改变其恒流特性的特点，实现了双向恒流。实际应用时，VD1和VD2的恒定电流I_H选取，根据需要既可以相同也可以不相同。图8（b）所示，则利用了桥式整流电路的整流特性，仅用一只普通恒流二极管，便可获得双向恒流功能，并且正、反向恒流值始终相同。

◆ 在业余制作或家电维修时，如果一时找不到合适的恒流二极管，不妨将一只3DJ型结型场效应管按图9（a）所示连接，直接构成恒流二极管使用。由于结型场效应管的漏极特性曲线与恒流二极管的特性曲线很类似，所以这种代用品效果与恒流二极管十分相近，其恒流值I_H等于所用场效应管的饱和漏电流I_{DSS}，击穿电压U_B等于场效应管漏极和源极间的最大耐压B_{UDS}，饱和电压U_S实测一般≤1.5V。

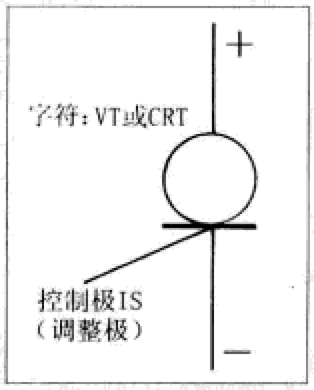
如果按图9（b）所示，在结型场效应管VT的源极回路中再接上一只可调电阻器RP，则可构成恒流值能够连续可调的恒流二极管。当RP阻值为零时，恒流值$I_H=I_{DSS}$，改变RP阻值，即可使结型场效应管的U_{GS}在零至夹断电压U_P之间变化，便得到小于I_{DSS}的各种恒流值，这在业余条件下使用比普通恒流二极管还要方便。RP的标称阻值可由所用场效应管的夹断电压U_P除以饱和漏电流I_{DSS}求得。

◆ 恒流三极管是继恒流二极管之后开发出的一种三端半导体恒流器件。其最大特点是增加了一个控制端I_S（也称“调整极”），可在一定范围内对恒定电流进行连续调节，最适合作LED调光电路。常见恒流三极管的实物外形和电路符号如图10所示。实际应用时，若不使用电流调整功能，可将控制端I_S直接与负极相连，这时恒流三极管就变成了恒流二极管，所输出电流为最大，其性能和使用方法与普通恒流二极管完全相同。目前，市场常见的恒流三极管产品除了图10所示的典型型号外，还有国产3DH×××系列、2THL×××系列等。

◆ 恒流二极管作为一种特殊的半导体器件，其装接注意事项与普通晶体二极管完全相同。在焊接插接式恒流二极管的引脚时，一般要求在离外壳3mm以外处进行焊接，所用电烙铁功率不要超过30W，焊接时间要快，并尽可能用镊子、尖嘴钳等夹住引脚根部帮助散热，以防止损坏管子。在焊接贴片式恒流二极管时，所用电烙铁功率最好不要超过25W，焊接时间控制在3s以内，并尽量减少拆装次数，谨防造成损坏。



(a) 外形图



(b) 电路符号

图10 新型恒流三极管

热转印法制作PCB详解 1

◎王平

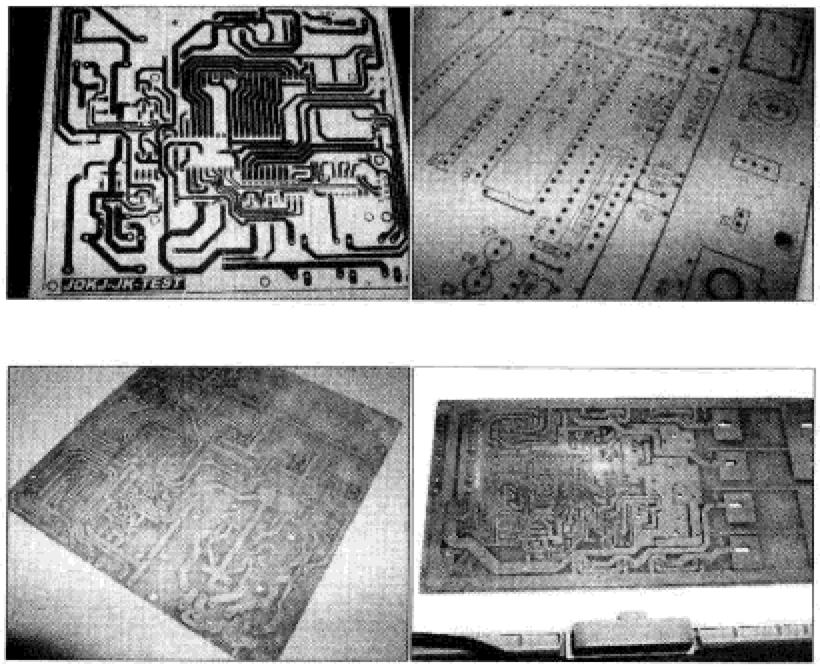
背景介绍：

对于电子爱好者，PCB打样在业余制作中可能是一个不小的鸿沟，让很多爱好者望而却步。首先，PCB打样对于一般的DIY玩家来说还是比较贵的，特别是设计初期，经常要对硬件设计进行修改，修改后上一个板子打样的模板就无法继续使用，所以每次修改都需要重新制作一次PCB，费用常常居高不下。其次，PCB打样的加工至少需要一周的时间，可能有些设计灵感就会稍纵即逝，因此很多爱好者退而求其次，使用仿真模拟软件，进行模拟测试。不过真实的硬件系统和软件模拟还是有差别的，硬件设计要考虑元件布局、PCB布线方式和电磁兼容性等，而且程序也必须在真实硬件上长期运行无误，完成的系统才会可靠。

热转印法是很好地解决电子爱好者迅速制成PCB的一个优秀的方法。这种方法据说是国外的某位资深牛人率先创造的，具体哪位现在已经无从考证，但是热转印制作PCB方便快捷，制作精度高，成本低廉，已被广大电子爱好者所接受，流传甚广。经过爱好者的不断实践、创新和完善，现在已经有一套很成熟的制作工艺流程和制作方法了。

根据笔者的设计、制作经验，特向读者力推热转印PCB制作方法，希望能有更多的电子爱好者用自己的双手实现设计蓝图。笔者根据前人经验加上自己不断摸索，总结出了一套热转印制作PCB电路板的方法，分别从热转印优缺点、热转印工具准备，单面板PCB设计规则、单面板制作注意事项、双面板设计规则、双面板制作注意事项、PCB设计与机械模型联合设计方法等几个方面来加以介绍。

在介绍之前，先给大家看一些笔者用热转印法设计制作的一些实物照片。



看完这些照片后，您是否也有冲动，想要亲自动手DIY一块PCB，那就请你耐心的看完整个教程，然后自己勤加练习，在实践中掌握技能，制作出符合自己要求的PCB，提高自己DIY作品的整体能力。

优缺点

优点：

1. 制作精度高，最小线宽可以做到0.3mm，能够实现较复杂的图形；
2. 制作取材方便，无需特殊加工工具，有利于业余手工制作；
3. 制作周期短，便于加工和处理，缩短研发周期；
4. 线路网络可追溯性强，便于调试和故障查找；
5. 焊接方便、抗氧化性好，便于长时间保存；
6. 制作成本大大降低，便于推广。

缺点：

1. 线宽低于0.3mm以下的板子制作时的废品率较高；
2. 双面板制作时要采用特殊的设计方法来实现过孔；
3. 超过两层以上的PCB，热转印法实现难度较大。

在此，对想使用热转印法制作PCB的朋友提出以下几点要求：

◆ 需要具备一定的动手实践能力，熟练掌握多种加工工具的使用；

◆ 需要掌握多款设计软件，如：Altium Desinger、Solidworks等；

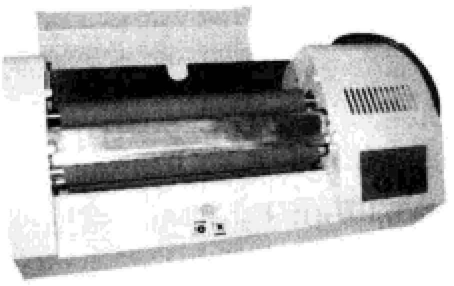
◆ 随时要注意安全防范，提高安全意识。

热转印法制作PCB必备工具

1．电脑一台，笔记本或者台式机都可以。如果有条件的话，需要一台配置较高的主机，在电路设计时不会为电脑反应慢而苦恼。较高的配置可以使3D效果运行流畅，所以在选购主机的时候得下点功夫。

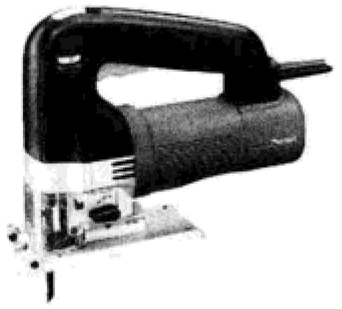
2．激光打印机一台。目前市场上激光打印机价格已经很低了，如果还觉得贵的话，可以去二手市场看看。激光打印机所使用的打印原料是石墨粉和树脂，在将来做PCB时就是这层材料覆盖在铜箔上来阻止腐蚀溶液的腐蚀。对墨粉的选择，笔者建议使用原装进口墨粉。如果使用二手激光打印机，建议购买新的硒鼓，硒鼓和墨粉的好坏直接影响到最终打印的效果。

3．过塑机一台。过塑机是进行热转印的主要加热转印工具，其加热模块可以提供碳粉和树脂熔化转印的最佳温度170~200℃。前后4根橡胶滚轮，可以提供均匀的压力，使转印时热转印纸平整，转印充分。



4．微型电钻一把，另配常用麻花钻头C0.8、C0.9、C1.0、C1.2、C1.5、C2.0、C2.5、C3.0若干，通过使用微型电钻，配合相应的钻头，给PCB进行钻孔处理。

5．曲线锯一把，通过使用曲线锯来对PCB覆铜板的板材进行切割。



6．微型砂轮机一台，用来对切割过的PCB板材进行去毛刺处理。

7．工业级电热吹风机一把，当PCB水洗后，用来快速烘干PCB，并在喷漆后快速烘干漆皮。

8．剪刀一把。

9．美工刀一把。

10．透明直尺。

11．油性记号笔，用于热转印后对转印电路进行修补。

12．透明胶带，宽度8cm、2cm各一卷。

13．热转印纸，可以利用不干胶的底衬纸，一般是黄色，一面带有绿色网格，另外一面很光滑，一般的广告刻字店都有（这种纸是广告公司的废弃物，如果你要帮他们处理，广告店老板会很热心）。

14．大头针一盒，用于双面板定位。

15．砂纸若干张，用于覆铜板打磨。

16．单面、双面覆铜板若干，选用环氧树脂或玻璃纤维为基板的覆铜板，机械强度高，铜箔黏着力强。

17．塑料周转箱3只，作为腐蚀电路板、清洗电路板的容器。

18．医用橡胶手套若干。

19．护目镜一副。

20．口罩若干。

21．一次性注射器若干，用于腐蚀溶液的配比。

22．毛刷，宽、窄各一把，用于助焊剂的涂抹。

23．自喷漆，颜色：红、白、蓝。

24．松香水（或香蕉水）一瓶，在建筑材料店均有售，用于除去做好PCB上的碳膜保护层。

25．松香酒精溶液，又称电子助焊剂，一般采用无水酒精加入固体松香后调配而成，在最后电路板成型后，刷于PCB表面，既可以助焊，又可以防止铜箔氧化。

26．双氧水一瓶，用于处理PCB铜箔表面和调配腐蚀溶液，可在各大化工商店购买。

27．三氯化铁，用于配置腐蚀溶液，在各大化工商店均可购买。

28．塑料储物箱一个，用于存储以上化工商品。

以上介绍了热转印法需要的一些工具和材料，工欲善其事，必先利其器嘛。有了好的工具，用起来得心应手，再加上一份你的热情，自然就可以设计制作出好的作品了。

工具准备好了以后，笔者要在这里唠叨一句：平时要养成整理、打扫的好习惯，不要随手乱放工具，乱扔垃圾，用完的工具要及时整理归位，以便下次使用时能快速找到。好的工作环境可以让人心情愉快，自然能提升效率，不要忽视这些小习惯，坚持这些好习惯会受益终身，给大家看一下笔者的工作室。

热转印法制作PCB详解之

如何用热转印法制作单面板PCB

◎王平

单面板PCB设计规则

做东西和学习一样，都是从简单到复杂，循序渐进。在PCB设计中，我们首先考虑单面板的设计。一方面，单面板制作成本低，只需用到单面覆铜板；另一方面，单面板制作起来难度较低，元器件都集中在板子的一侧，焊接方便。同时由于以上的特点，在PCB设计时对元器件的摆放布局、走线方式提出一定要求，在设计单面板时要合理布局，并且利用跳线和直插元件来进行辅助走线。元件的合理布局可以在设计阶段根据需要调整，在这之前要求读者熟练掌握任何一款PCB的设计软件，不论是Protel99，还是Altium Designer，任何一款PCB设计软件使用熟练后，你都可以设计出高质量的电路板。PCB设计过程中，软件仅仅只是一款工具，设计思想才是最重要的。

如图1所示单面板，圈内粗线即为跳线，跳线与其他电子元件安装在同一侧，在制作完成PCB后，应首先焊接跳线，保证整体电路通畅，再焊接其他电子元件。

单面板PCB制作

下面就通过一个具体的例子——温度监控系统，给大家讲述整个单面板PCB的热转印法制作过程。

图2所示是几年前我做的一个温度控监控系统，该系统由单片机来读取DS18B20的温度。由于当时的制作条件比较差，很多设计制作都是在洞洞板上完成的，当电路复杂时，制作周期长，线路可追溯性差，为后期调试维护带来了一定的麻烦。

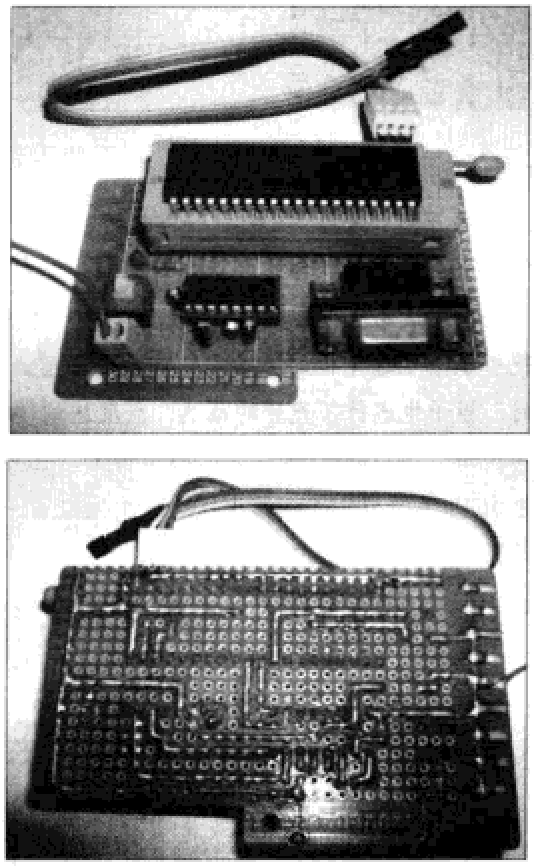


图2 几年前用洞洞板做的温控系统

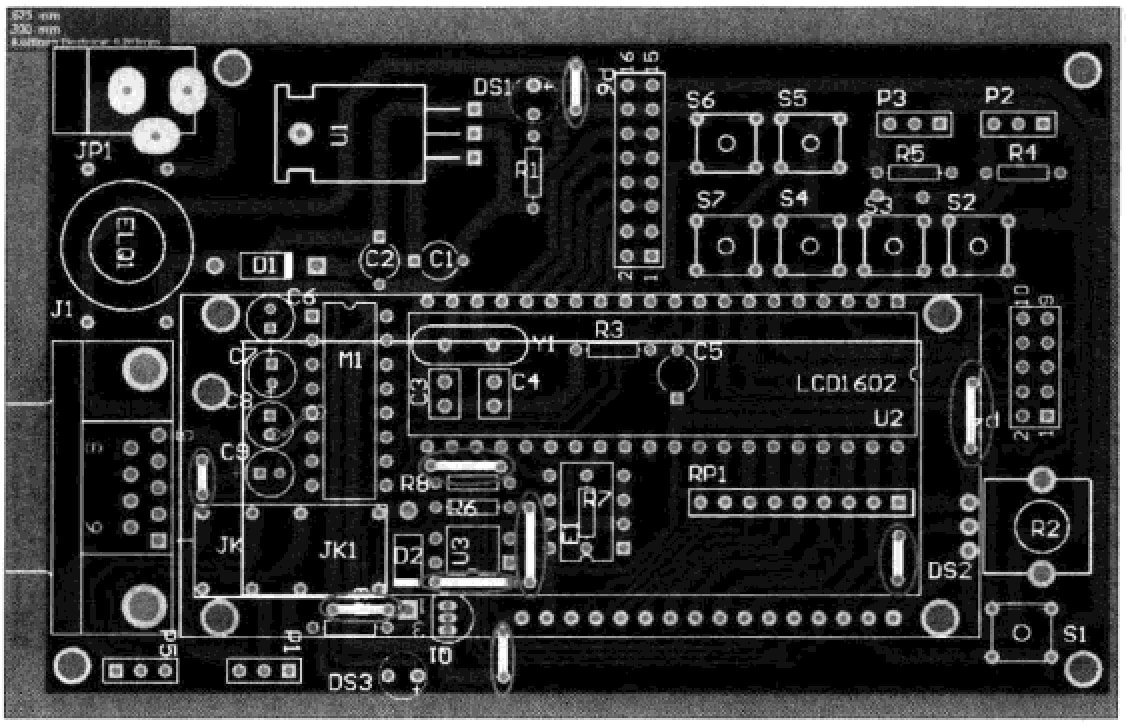
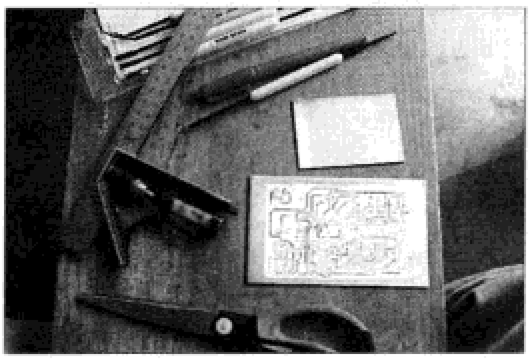


图1 单面板PCB设计图

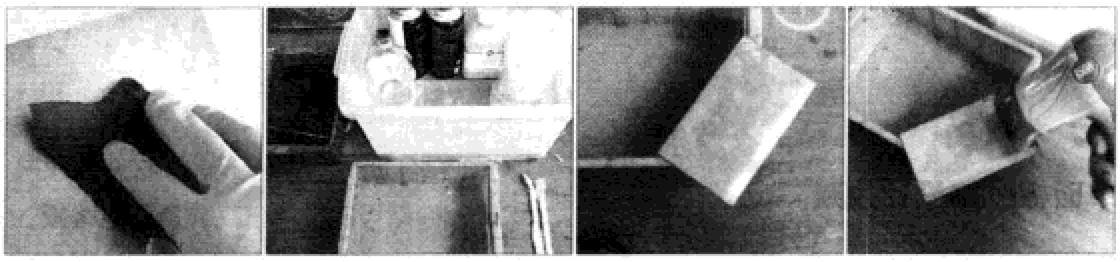
首先使用Altium Designer设计出原理图，温控系统采用AT89S52作为主控核心，外围有ISP下载接口，24C04EEPROM，数字液晶接口，串行通信接口，温度传感器接口，继电器接口等。图3是设计好的PCB图，在制作调试时可以很好地追溯每条线路，便于调试时纠错。

下面开始正式制作PCB了。

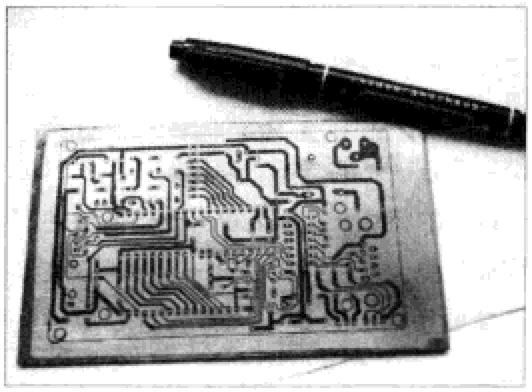
第一步：先按照设计图纸裁剪PCB板框，板框要比实际图纸大一些，为粘贴热转印纸留出空间 。

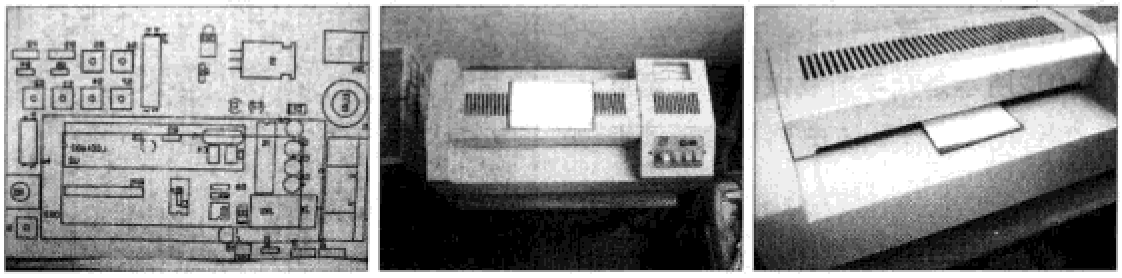


第二步：对裁剪好的板材进行预处理。先用细砂纸对覆铜板进行打磨，力度适中，除去表面油污，露出光亮的铜板色，在容器中倒入一些双氧水，以刚好没过板子为宜。对打磨好的覆铜板进行氧化，这样可以在覆铜板表面形成一层致密的氧化铜薄膜，在热转印的时候更有利于与碳粉结合。氧化好的板子用水洗干净，然后用吹风机吹干，在拿板子时应只拿板框，避免在覆铜板上留下指纹。



第三步：把PCB图按照1：1打印在热转印纸上，也就是不干胶的底衬，把图打在较光滑的那一面，顶层丝印需要采用镜像打印。打印好的图纸经过裁剪和定位，保持热转印纸表面平整，用透明胶带固定好，然后送入过塑机中进行过塑 ，一般先要对板子进行预热，可直接把板子放在过塑机的上盖上，调节好温度，然后让板子自然预热。等到过塑机可以过塑工作时，板子也进行了充分的预热，温度达到180～200C℃，然后把板子送入过塑机，记住要单方向过塑，过塑5～10遍即可，然后静置，让它自然冷却，最后轻轻揭开热转印纸，即可看到清晰的PCB图像留在了铜箔上。这一步完成后，整个工程就进行了一半。如发现有断线的地方，可以用油性记号笔进行修补。





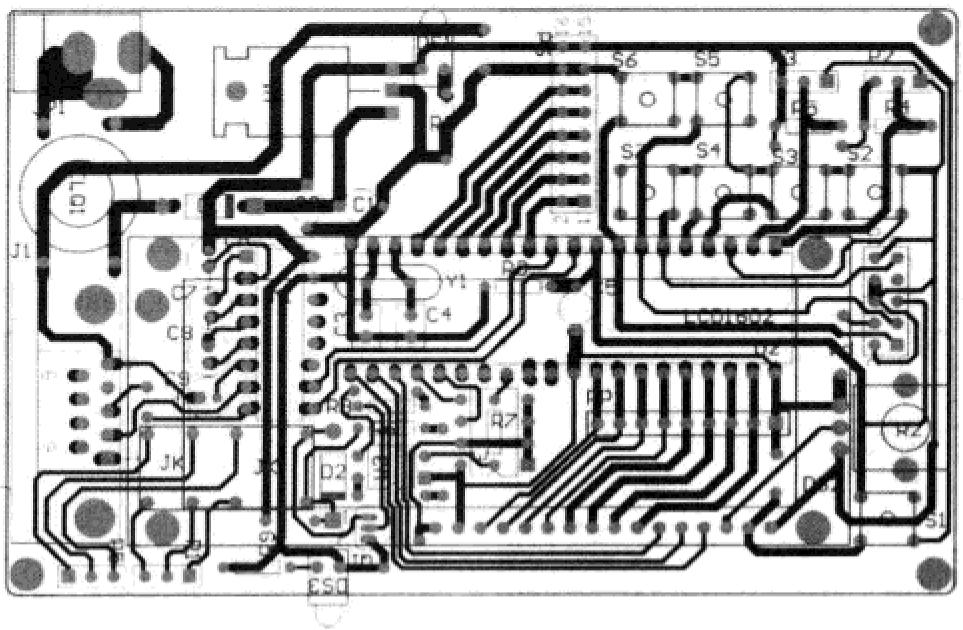
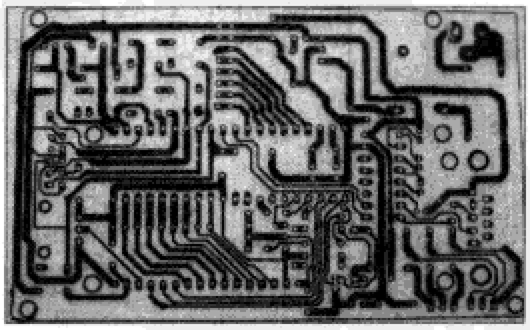


图3 用Altium Designer设计的PCB图

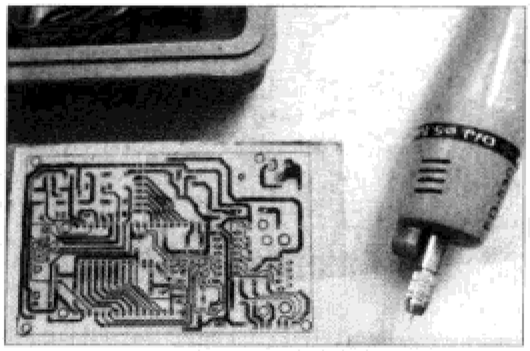
第四步：腐蚀。每个城市都有化工商店，购买三氯化铁（$Fecl_3$），先把电路板放入容器中，在板子上倒入三氯化铁晶体，然后倒入开水，水面超过板子1cm左右，可加快PCB腐蚀。在腐蚀的同时，可以不断摇晃腐蚀容器，促使腐蚀液循环流动，需要15min左右的时间，当板子只留下打印上去的线路层时，腐蚀完毕。腐蚀时尽量不要走开，以免腐蚀过度。

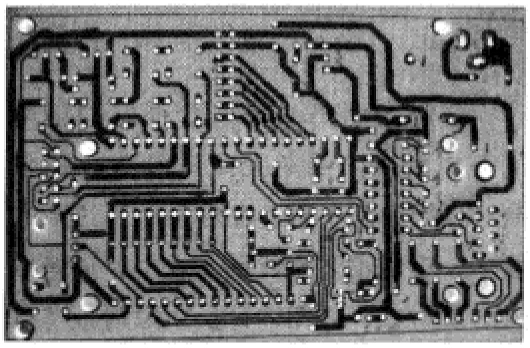


腐蚀完成后，用清水冲洗，然后烘干，腐蚀液可以留着下次腐蚀时再使用。

第五步：打孔。

使用微型电钻给PCB打孔，在打印时已经选择打印出焊盘。钻孔时，选择合适的钻头，钻头要精确定位，钻头与PCB保持垂直。





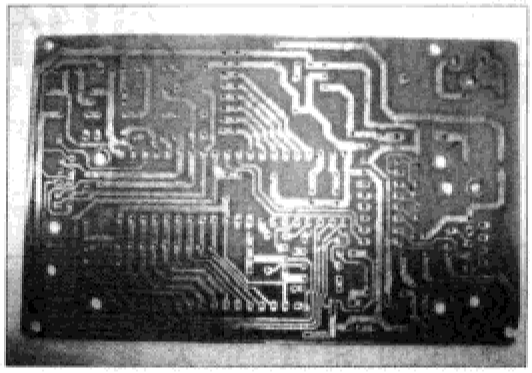
打完后可以对着光看一下，有没有漏打的孔。

第六步：裁剪板框。

可以使用曲线锯沿板框进行裁剪，最后上砂轮、打磨、去毛刺，这样一块热转印PCB就基本上完成了。

第七步：除去碳粉层。

找一个腐蚀容器，倒入松香水（或香蕉水），然后用毛刷轻轻刷PCB，附着在覆铜板上的碳粉层可以很容易地被刷掉，最后用清水冲洗干净，再用吹风机烘干。

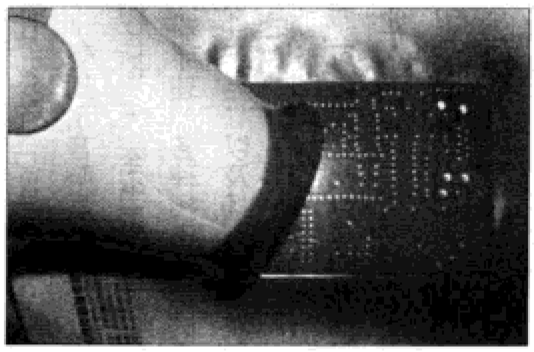


第八步：涂抹抗氧化层。

把松香与无水酒精进行混合，得到松香酒精溶液，然后用干净毛刷均匀地涂抹在PCB表层，再用热风机烘干。反复涂抹、烘干4遍，就可以在板子表层形成一层松香薄膜，既可以阻止外界空气对铜箔的氧化，便于长时间的存储，又便于在焊接的时候充分上锡，保证焊接质量。

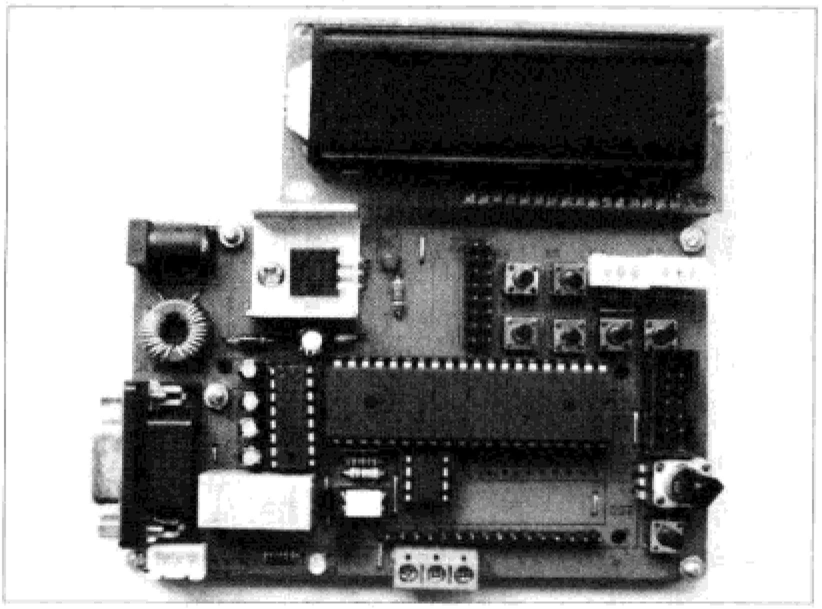
第九步：制作表层丝印。

首先在板子顶层用自喷漆喷涂一层漆膜，颜色根据个人喜好进行选择，黑色不能选，因为丝印层为黑色，把顶层丝印镜像打印在热转印纸上，然后对准板框，一并送入过塑机中进行过塑，过塑一遍即可，这样就可以在PCB表层留下清晰的丝印层了。

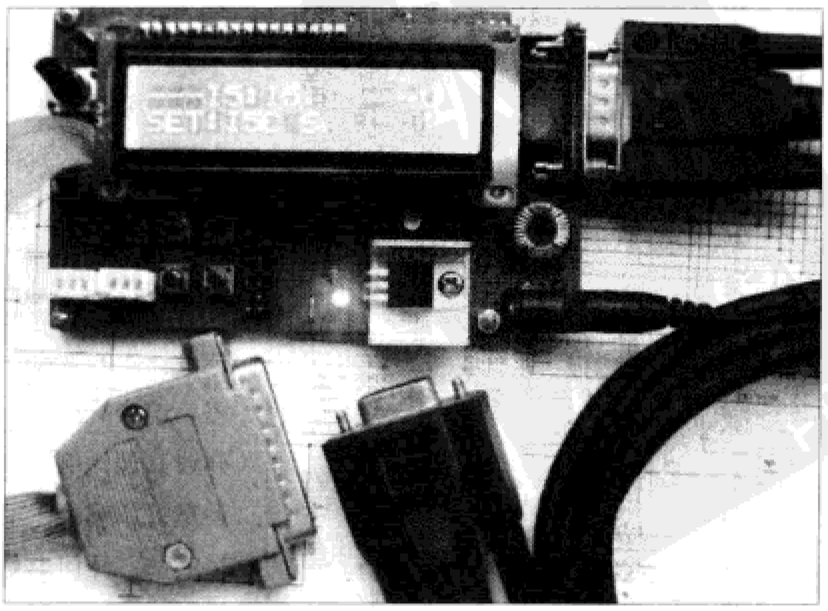


整个单面板热转印PCB的制作过程到此结束。下面进入焊接程序，首先焊接跳线，跳线可以使用元器件多余的引脚，然后再焊接其他元件，成品最终就焊接好了。

下期，我会为大家介绍热转印法制作双面板PCB的方法。



焊接好的成品



通电测试成功

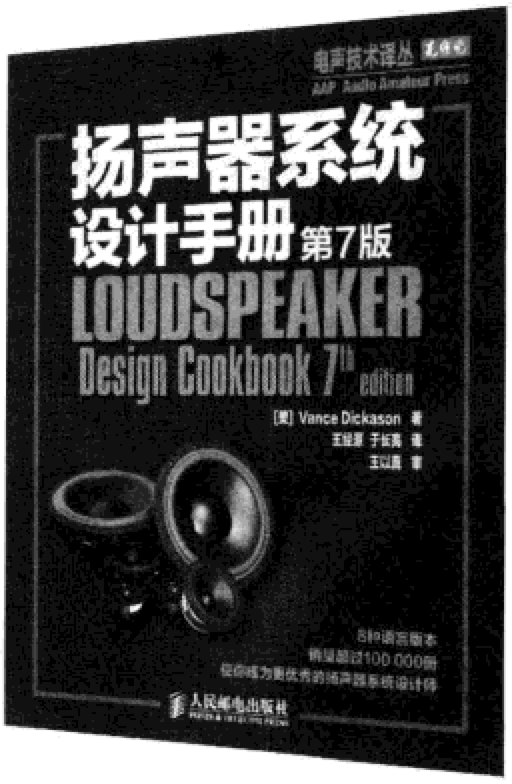
新书摘选

箱体形状与驻波

◎王经源　于长亮 译

编者按：《扬声器系统设计手册（Loudspeaker Design Cookbook）》最早出版于1977年，此后一再修订再版，并被翻译成德语、法语、荷兰语、意大利语和葡萄牙语等版本，受到了音响爱好者和众多专业扬声器工程师的欢迎，得到广泛的好评，甚至被誉为扬声器行业的"圣经"（the loudspeaker industry "bible"）。全书围绕高性能扬声器系统设计，应用最新的计算机分析技术，结合扬声器科技的新进展与大量的图表深入浅出地介绍了扬声器原理、各种扬声器箱的设计原理、扬声器箱结构与障板效应、分频网络的设计与"调声"，还特别介绍了扬声器相关的测量技术与软件工具，以及扬声器系统和声重放环境的计算机辅助工程软件与技术，并将这些最新技术的应用贯穿全书。本书最后还介绍了家庭影院和汽车音响的扬声器设计以及两个设计制作实例。全书内容新颖，引用了大量的科技文献，许多知识未曾在此前的中文出版物中出现过，可以说是当今世界扬声器电声学研究现状的一个缩影。相信此书不仅可以为爱好者提供较全面的学习材料，对于国内的扬声器行业专业人士也是一份很好的参考资料。

此书已于2011年9月出版，在此我们节选书中部分内容，没有买到此书的读者，可在此先睹为快。希望此书中文版的出版，不仅可以提高爱好者们的扬声器系统设计制作水平，还能对国内扬声器行业的发展起到一定的作用。



长方体箱体内的驻波模式会在扬声器单元响应上引起幅度变化。驻波反射到扬声器单元锥形振膜的问题，可以通过使用第1章1.82节中描述的阻尼材料进行大幅度地消除。这一点可以通过对长方体箱体100%填充和不填充的比较得到阐明，结果显示于图1。用吸声材料填充的箱体的响应，与空箱体相比，具有很小的幅度偏离。由于这种阻尼材料对驻波的阻尼是如此的有效，因此其他的如箱体形状和尺寸比例的考虑，往往都是次要的。这尤其适用于闭箱设计，它常常使用阻尼材料作100%填充。开口式箱体很少使用超过50%的填充，所以受箱体模式的影响更多一些。

人们设想，通过选择合适的箱体尺寸比例，可以使长方体音箱箱体内的驻波最小化。这些比例通常和被选来消除房间环境中的驻波模式的比例相同。最常被提到的箱体尺寸比例是Thiele推荐的一个，也正好是一个来自黄金比例的人为数字，建筑设计中的黄金比例可以上溯到埃及金字塔。这个高/宽/深比例被设为2.6/1.6/1。建议其他比例有2/1.44/1和1.59/1.26/1，但是，如果箱体用吸声材料进行合适地阻尼的话，任何由箱体尺寸比例得到的改善效果都可能是次要的。

这些比例仍然是一个很好的指南（考虑到扬声器单元尺寸和布局的限制），因为它不推荐制作过长、过窄的箱体，这种箱体可能易于发生管道谐振（必要时，可以用内部反射障碍板"打破"）。其他没有平行侧面的箱体形状类型，如五角形箱体和带有倾斜前障板的箱体，将具有不同和可能较少发生驻波模式，但它们的吸引力常常是装饰多于实用。

低频扬声器单元在障板上的位置也严重影响未经处理的箱体内的驻波。有研究表明，把扬声器单元装于箱体的正中央或者恰好低于这一点的某处，可以使箱体高和宽（但不含深度）方向的驻波最小化。半圆柱和圆柱形的箱体形状可以减少箱体深度方向的驻波，并降低上达约800Hz的声压响应。这个效应可以用有限元分析对无填充箱体进行分析来确定，但在吸音材料填入时将变得不重要。

实验表明，长方体和圆柱形之间的差异很小，即使箱体完全不含填充材料。虽然Cubicon 硬纸板管和同样厚度的中密度纤维板相比，确实具有更好的振动阻尼品质，与其说圆柱形箱体抑制了干涉和驻波模式，不如说真正得益的是外观装饰，然后才是其他。

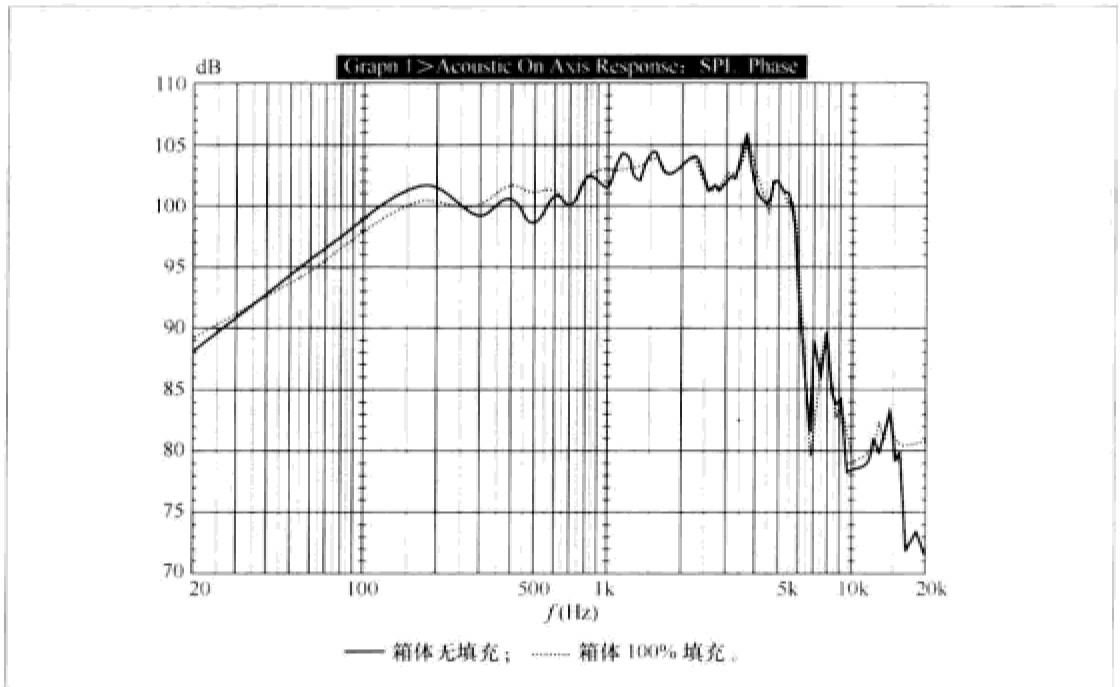


图1 长方箱体100%填充和无填充的比较

箱体阻尼

实验证明，典型的贴皮中密度纤维板和刨花板扬声器箱与低频扬声器单元联合谐振，在特定频率上辐射出与扬声器单元本身近乎相等的声压。Celestion SL-600音箱（已停产）成功的首要原因是蜂巢航空铝箱体在很大程度上消除了大多数木箱传播的声染色。许多材料和技术可以用于使箱体振动最小化。包括选择箱壁材料、箱壁谐振阻尼材料、支撑技术、扬声器单元安装固定技术、以及箱体地面耦合（enclosure floor-coupling）。

1. 箱壁材料

关于箱壁材料的选择有两种基本流派。一个是强力技术派，要求使用厚壁高密度材料，如1英寸中密度纤维板与大量的内部支撑联用，有时还加上壁阻尼复合物。像来自Thiel Audio、Wilson Audio、和Aeriel Acuoustic的音箱就使用这种类型的结构。

另一个流派建议使用中等强度和较轻的薄壁材料，如1/2~3/4英寸的船用胶合板，并使用大量阻尼材料，从而在100~500Hz范围内得到较低水平的声染色。在20世纪60年代后期制造的Leak Sandwich音箱，使用这种类型的结构。它使用1/2英寸胶合板和厚的屋顶油毡制成。两种结构看起来都有效，在工业上都有许多实例。

约束层材料是另一种技术。约束层结构板是用两层中密度纤维板或类似的材料夹着一层谐振阻尼材料制成。这个产品是专业化的，业余制作者通常难以获得。3/89期Speaker Builder的文章推荐了一个有意思的替代品，由2层1/2英寸饰面胶合板夹着2层1/2英寸石膏夹心纸板制成，每层之间用建筑胶水粘合。另一个约束层结构例子来自4/82期Speaker Builder的一篇文章，推荐使用填充沙子的板材作为箱壁材料（最早是由G. A. Briggs提倡的，他是英国Whafedale公司的创始人）。

Nokia工程师Juha Backman在101届AES会议上提交的一篇论文，对未处理中密度纤维板较差的阻尼和约束层材料的优良特性做了定量分析。这个研究包括了加速计测量和近场箱体测量，清晰地显示了约束层阻尼好于自由阻尼的优良特性。

2. 壁谐振阻尼材料

如果板材谐振升高到较高的频率，选择中等硬度的薄壁材料或者支撑，较高频率的谐振可以通过使用自由阻尼复合物得到阻尼。这种材料的例子此前曾在《Voice Coil》杂志讨论过，包括了两种非常有效的产品，Antiphon Type A-13和EAP Type CN-12。Antiphon Type A-13是一种含沥青的毛毡/粘土混合材料阻尼产品。它主要在汽车工业销售，以阻尼小汽车顶篷的振动谐振，以1/16英寸厚的自粘薄片形式出售。在50%或以上面积的箱壁上粘2层的这种材料效果就足够好。

EAR产品是EAR公司为美国海军开发的一种石墨填充的乙烯基产品，用来阻尼核潜艇的船体振动。它以1/16~1/4英寸的厚度销售，按与Antiphon相同的方法使用，也同样非常有效。业余爱好者现在还买不到这类材料，但将来可能可以。这些材料的批量价格在1.60~5美元/平方英尺。较便宜的替代方案是在箱侧壁钉上多层（4~6）规格为30磅（1磅≈

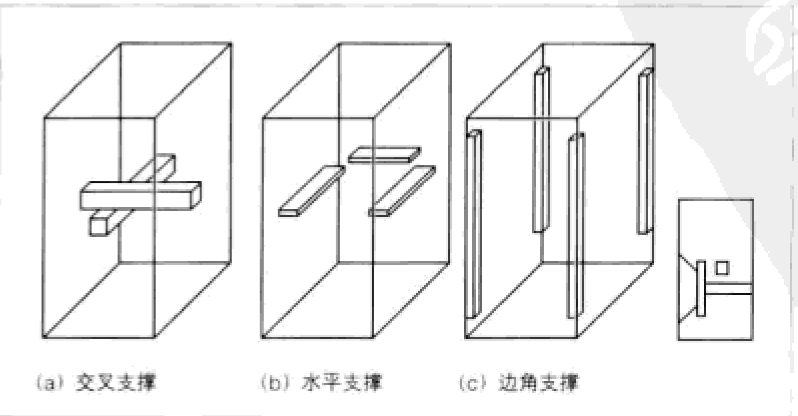


图2 长方体箱体

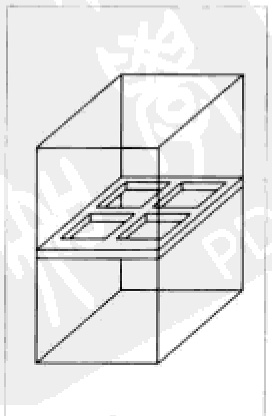


图3 架式支撑示例

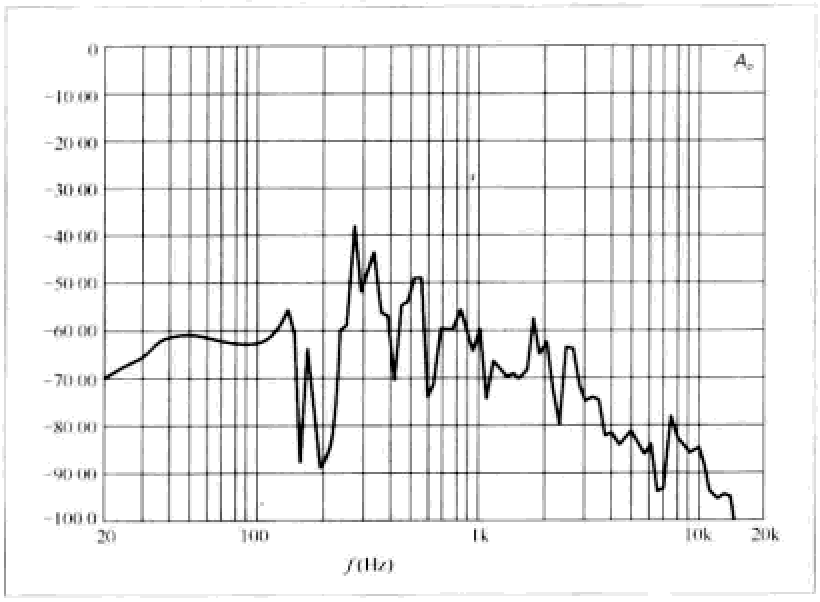


图4 未经处理的0.75英寸刨花板箱体的加速计测量结果

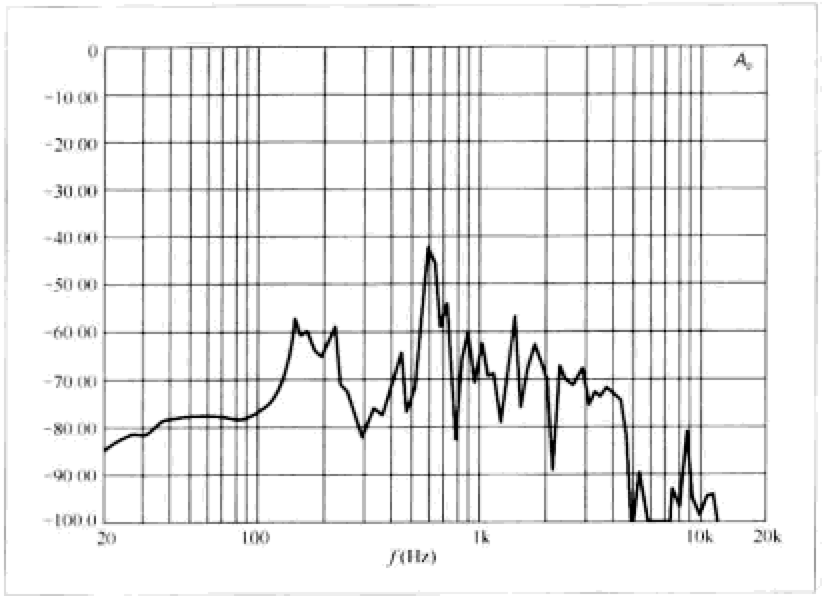


图5 阻尼和支撑处理的1英寸中密度纤维板箱体的加速计测量结果

0.4536kg）的屋顶油毡。侧壁和前障板内面的50%~70%面积应该用材料覆盖，并钉在四角和每块板的中央。

汽车防水底面涂层用的液体材料也被用于音箱，但溶剂型产品可能对单元粘胶剂、折环和锥形振膜材料有危害。另一个替代方案是沙子和防水粘合剂的50/50混合物，但这个工作比较乏味且费时。

3. 支撑技术

支撑将箱壁有效地隔成两块准独立的板，每块具有它自己的谐振频率。3个基本支撑类型如图2所示。它们分别是水平、边角和交叉支撑。水平支撑可用于打破箱体的切向谐振。

虽然可以使用角铁，典型的材料还是用3/4英寸×2英寸的木料。架式支撑（shelf brace）是它的一种变形，是一种实用于产品的水平和交叉支撑的组合。架式支撑类型如图3所示，它基本上是一个稳固的木板，连到箱体的3个或4个面上，板上切开大的孔洞，让箱体的空气可以流过。

边角支撑增强了相邻的两壁间的相互结合，并使能量消散。交叉支撑用于连结相对的两壁，左和右以及前和后。支撑材料可以用2英寸×2英寸木料或大直径的木钉（1~1.5英寸），对于它们所占用的箱内空间来说足够坚硬，可以有效地起作用。交叉支撑放在板的中央，将谐振一分为二，把支撑相互交错可使两块板的谐振频率不同，在某种程度了阻碍了它们的合成效果，不致在小信号下出现染色。

4. 扬声器单元安装技术

在降低箱体噪声方面，将扬声器单元盆架振动隔离也可能有用。有一种商业产品Well-Nut Fasteners（USM公司，Molly紧固件部门），在这方面做得很好。Well-Nut是一种基部镶嵌了铜螺母的橡胶嵌入件。这种自由浮动的紧固件常常用于阻尼电动机的振动，用在扬声器单元上也有相同的效果。使用Well-Nut还便于装卸扬声器单元而不磨损螺丝孔。装在安装螺丝或螺栓上的小橡胶垫圈也曾经有人用过，并取得了一些成功。这种垫圈再加上气密阻尼橡胶、泡沫、或油灰密封垫，有助于隔离扬声器单元的振动。

另一种简单技术是用硅胶粘合剂来安装扬声器单元。在扬声器单元的沉孔处挤上1/4英寸宽的硅胶，可以提供气密性和振动阻尼。其缺点是，一旦扬声器已固定在音箱的障板上，就不容易剥离了。

5. 箱体与地板的耦合

落地式箱体会将大量的振动传递到地板上然后再耦合到空气中。最近的流行作法是使用某种形状的金属脚钉（通常是3个）使音箱完全稳定，利用脚钉与地板的有限接触，将它与地板有一定程度的隔开，给音箱底座加上额外的质量，可以使之更加稳定。在市场上见到的一个新方法，有一些音响爱好者已采用。用一块扬声器大理石或沉重的石料做成平台，音箱放在石制平台上，不会向地板传递振动。

这些方法的组合使用，可以相当有效地降低箱体振动引起的声染色。图4和图5显示了对两个箱子的加速计测量结果，一个是3/4英寸的刨花板箱体（图4），另一个是使用木棍交叉支撑的1英寸中密度板箱体，并使用了Antiphon Type-A13延展阻尼材料（图5）。使用Audio Precision System 1正弦波扫描分析仪和PVDF（聚偏氟乙烯）加速计进行测量，PVDF加速计未经校正，但相对差别是明显的。虽然较高频率的谐振仍然存在，但150Hz以下却得到大幅减弱。同样明显的是，一些谐振略微地转移到频率更高处，但没有减弱。

热转印法制作PCB详解之
双面覆铜板PCB设计制作

◎王平

设计背景

在上一期中，我为大家详细介绍了单面覆铜板设计制作的要点、材料工具的准备。单面板只是热转印制作PCB的一个入门基础，双面板对制作的准确度又提出了更高要求，稍不注意，就会前功尽弃，通过跟随本期双面板PCB设计制作流程，相信通过你自己的努力，也可以设计制作出一款满意的双面PCB电路板，并按照自己的意图设计制作更多有趣、实用的作品。

实例应用

和上期一样，我们通过一个具体的实例来介绍双面板设计、制作的完整过程，本期我来给大家介绍一款实用的电子负载的双面板设计制作方法。

由于现在市面上电动车已经非常普及，电动车主差不多每年都要去更换一次铅酸蓄电池。以48V电动车为例，是4节12V蓄电池串联，当骑行1年左右的时间，通常会出现其中一只电池先发生故障的情况。由于该电池是串联电路，所以会导致其他3节电池在充电的时候充不满电，具体表现为充电器转绿灯的时间越来越短，放电的时候毁坏的那节电池率先放完电，致使整组电池电压迅速下降至保护电压以下，造成充满电后的电动车骑行距离越来越短。其实，另外3只好的电池只要加水维护一下便可继续使用。通过以上分析，如何准确排除那只已毁坏的电池是关键，因此我制作出一款简易电子负载，可以准确排除故障电池。

这个简易的电子负载其实就是一个恒流源加一个电压检测电路，根据国家规定，12V铅酸蓄电池的截止保护电压是10.5V，电流恒定为5A，通过判定达到截止电压时的放电时间，我们便可推算出电池的容量、放电性能等指标。如果充满电的电池通过恒流5A放电超过90min，便可放心使用。一方面，我们可以利用这个电子负载对电动车的电池性能有充分了解，另一方面，在选购电池时，我们可以用它对电池进行放电试验，选好电池。

怎么样，这个制作是不是很实用？通过这个实例，我们既可以学习制作双面板制作技术，又可以增添一个实用工具。那么就赶快行动起来吧。

制作过程

我们设计的电子负载需要一个恒定的5A电流。恒流源电路有很多，本文介绍一种最简单的恒流电路。我们都知道，7805是一种很常见的稳压芯片，可以保证输出端恒定在5V，有了恒定的电压，我们在回路中再串上一只2.5Ω的电阻，在回路中，我们便可得到2A的恒定电流。为了电路的稳定可靠，我们采用2只7805并联输出，驱动1只陶瓷功率电阻，如图1所示。7805采用铝型材作为散热片，通过风扇强制风冷，可以保证回路恒流在2.5A。

解决了恒流电路，下面我们要解决截止电压判断的问题。我们可以采用电压比较器LM393来设置截止电压，如图2所示。通过对输出信号取样，送入比较器同相端，与反向端+5V电压进行比较。当同相端电压低于反向端电压，运放输出端产生负跳变，通过光耦给单片机送入一个中断信号，在中断中对此事件进行处理，切断主放电回路，保存放电数据，并报警提

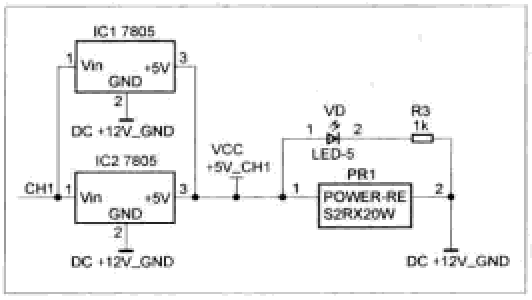


图1 两只7805并联输出

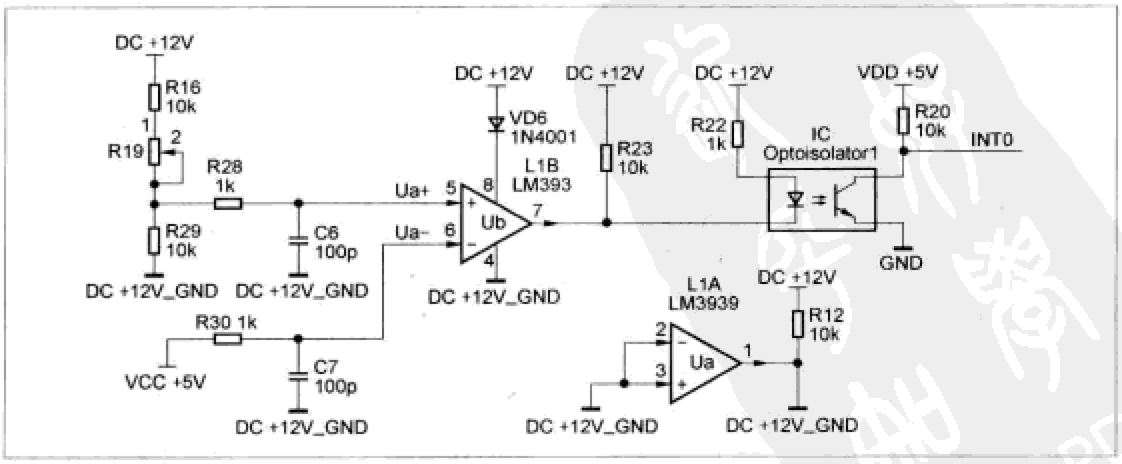


图2 截止电压判断电路

示用户。

本制作仍然采用单片机作为控制核心，对放电时间进行精确计时，通过数码管显示放电状态与放电时间，另外通过24C02存储放电数据，可以进行同一节电池多次放电数据的比较，如图3所示。

设计完原理图后，我们就可以开始PCB设计。由于采用的是热转印法制作PCB，所以在设计的时候一定要处理好过孔问题，孔的作用主要是用来连接正反两面的电路。由于是业余制作无法进行过孔沉铜处理，所以我们解决过孔的办法是使用0603封装的贴片0Ω电阻，塞入过孔中，然后通过上锡，连接两侧电路，或者是使用LED的引脚来连接两侧电路。这就要求大家在设计电路时，不能像工业制板那样随意使用过孔、插接元件的焊盘孔。工业制板时，元件的焊盘孔其实也是过孔，可以直接当过孔来使用。在业余制作双面板时，直插元件的引脚不能当作过孔来使用，需要连接两侧电路时，先在直插元件底层焊盘画出一条引线，然后在引线末端加一个过孔来连接顶层电路，如图4所示。

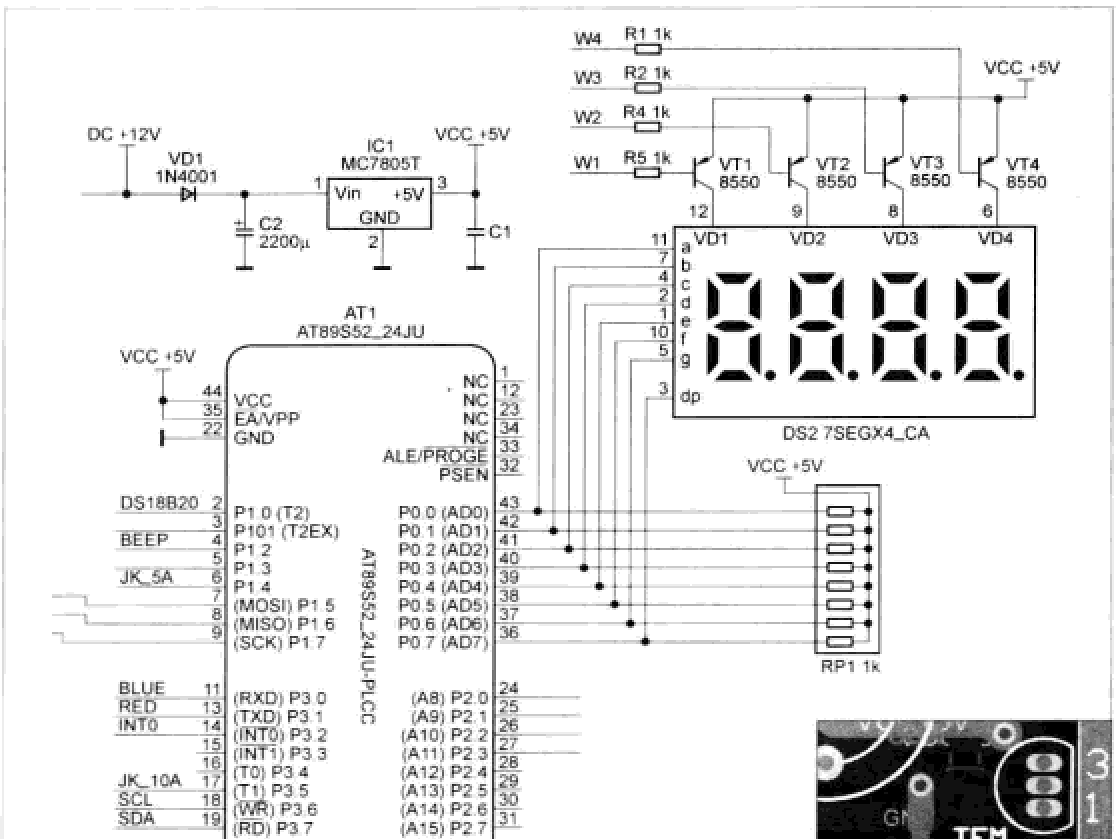


图3 成型的电路图

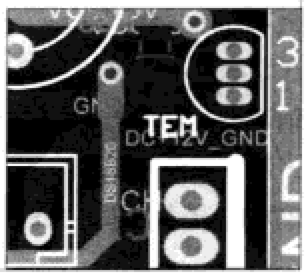
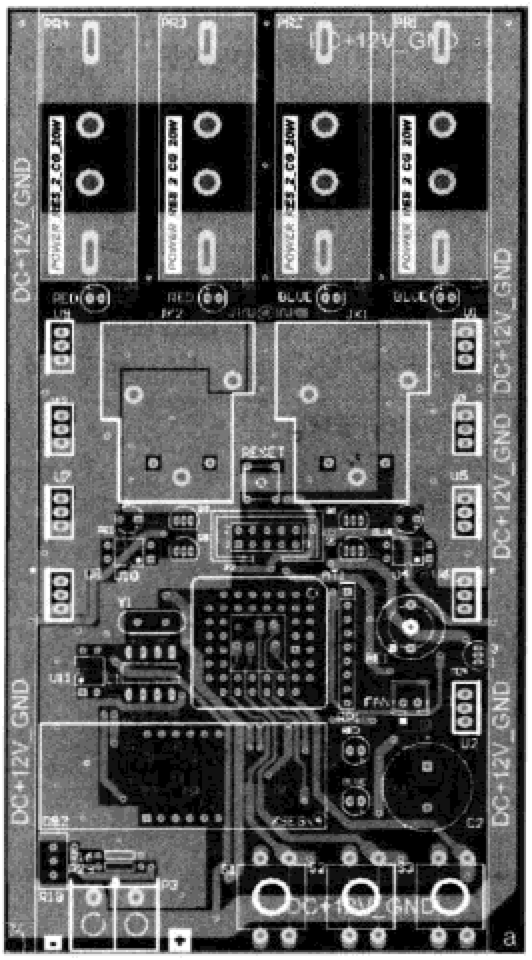
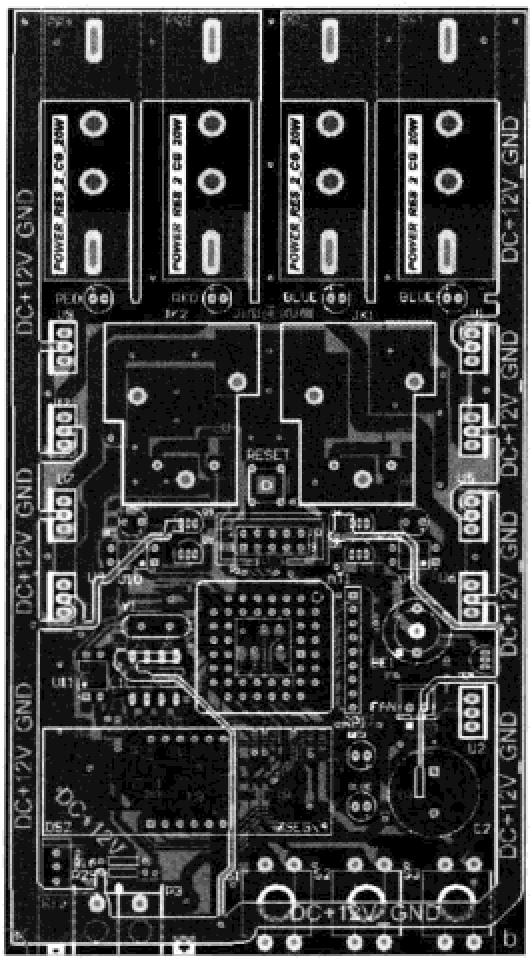


图4 双面PCB的过孔处理

图4中的DS18B20并不是直接连接到右侧TEM传感器上，而是通过一个过孔切换到底层，然后再连接到传感器的第二脚上。所以在设计制作双面板时，优先考虑贴片元件，第一可以少打孔，第二可以缩小电路板尺寸。按照以上设计原则，设计完成的PCB如图5所示。





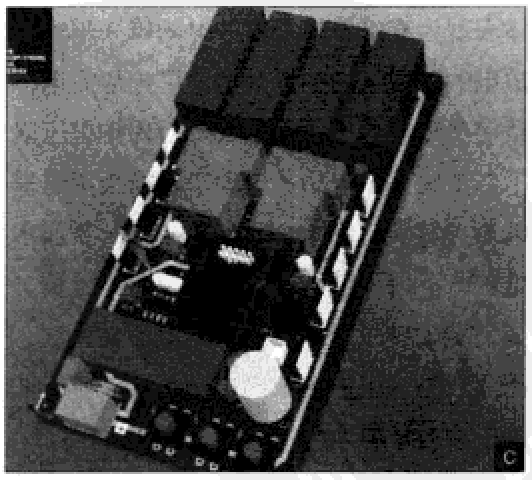


图5 设计完成的双面PCB及模型图

制作步骤详解

下面我们开始具体的双面板PCB制作过程。

第一步，使用激光打印机将PCB正反面图形1:1打印在热转印纸上。注意：PCB的顶层文件需要镜像打印，勾选Holes选项，即可打印出圆孔焊盘。图6（a）和图6（b）为其操作过程，图6（c）以及6（d）分别为双面PCB的正面与反面。

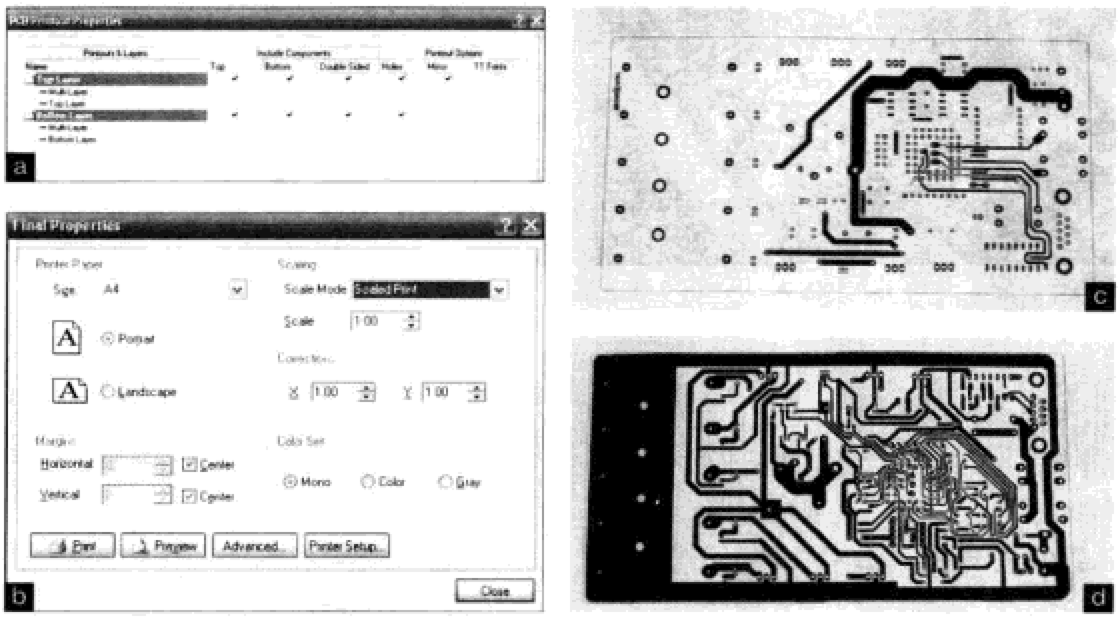


图6 用激光打印机将PCB图打印在热转印纸上

第二步，用粗砂纸先打磨PCB覆铜板，用力适中，除去表层浮灰与油污，如图7所示。覆铜板在各大电子市场都有卖，价格不等，其中以基板是环氧树脂的覆铜板质量较好，铜箔附着力强。

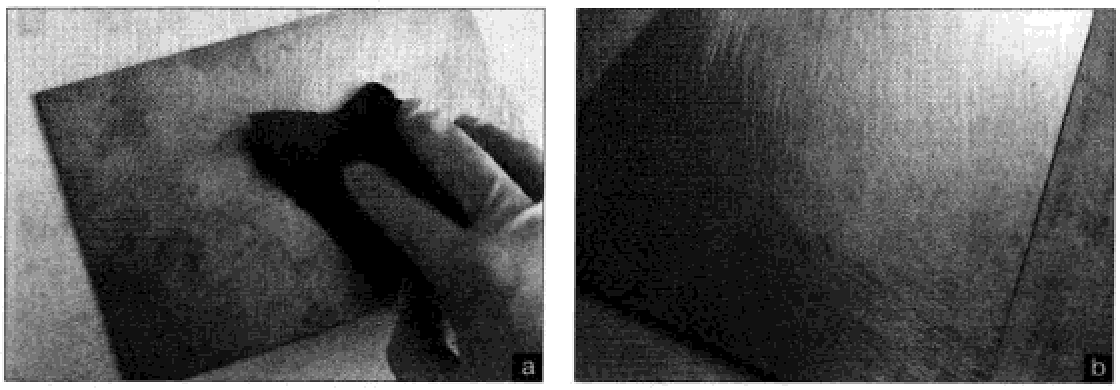


图7 粗砂纸先打磨PCB覆铜板

第三步，打磨光亮后的覆铜板，可以放入腐蚀容器中，在容器中倒入稀释的双氧水，对铜箔表皮做氧化处理，用毛刷轻刷板子。板子很快会发乌，在铜箔表层形成一层均匀的氧化铜薄膜，可以增加碳粉与铜箔的附着力，在转印的时候提高制作成功率。处理好的板子使用清水冲洗干净，吹风机烘干备用，拿板子要轻捏板子边框，尽量不要在板子上留下指纹，如图8所示。

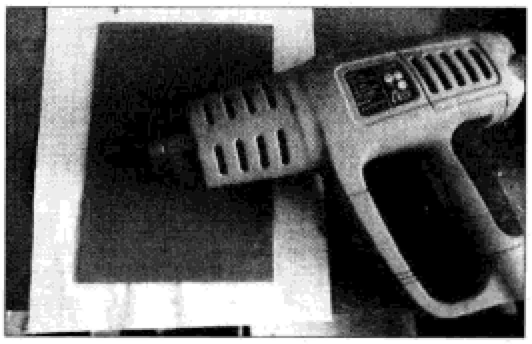


图8 处理打磨光亮后的PCB覆铜板

第四步，定位。做双面板的难度在精确定位上面，也就是说，两层的PCB能否在所有的焊盘上都重合！我采用的方法是，在打印好的底层PCB转印纸上选一些关键焊盘，用大头针穿透焊盘中心，至少要选3个点，3点确定一个平面，根据具体的情况适当选择定位点也可。然后，用胶带固定底层转印纸到覆铜板上，用钻头在针扎的孔位置打孔，电钻要竖直钻，不要偏！同理，在相应的顶层PCB转印纸上，用大头针戳穿与底层相对应的焊盘，然后把两层PCB转印纸对准相应定位点，这样就可以精确对孔了。之后，用胶带粘合住两层PCB，不要有褶皱，如图9所示。上述每个工序都很重要，大家不要马虎！

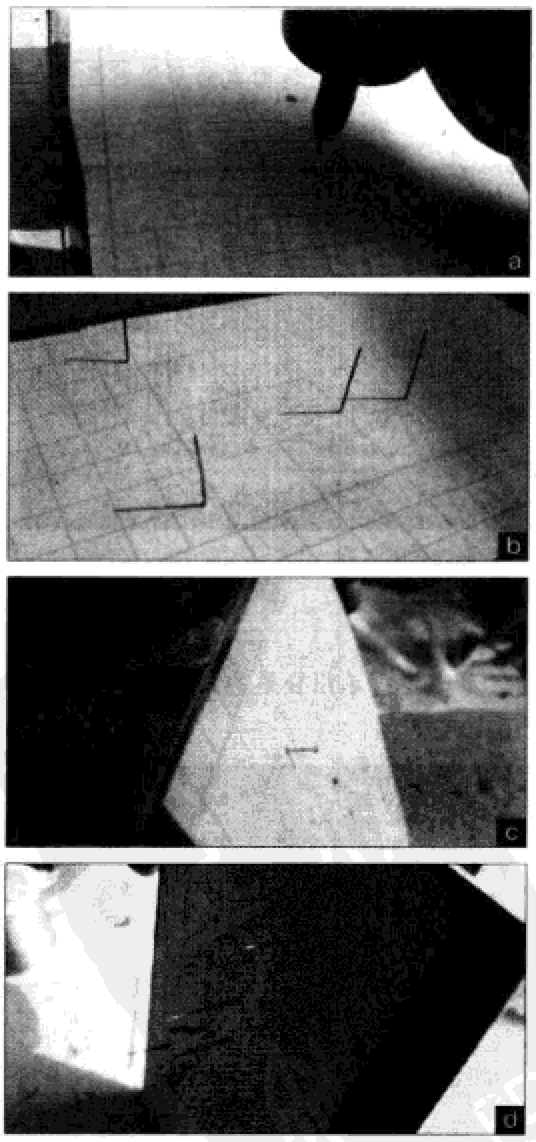


图9 确定两层的PCB焊盘重合

第五步，送入过塑机中过塑。因为是双面板，所以要多过塑几遍！温度开到最大200℃，过塑10～20遍，然后自然冷却。这时，你会发现转印纸有点起皱了，主要是两种材料的比热不一样，没多大影响。冷却后就可以轻轻揭去表层转印纸，如果有的地方转印得不好，可以用油性记号笔休整一下，如图10所示，然后就可以送去化学腐蚀（烂板）了。

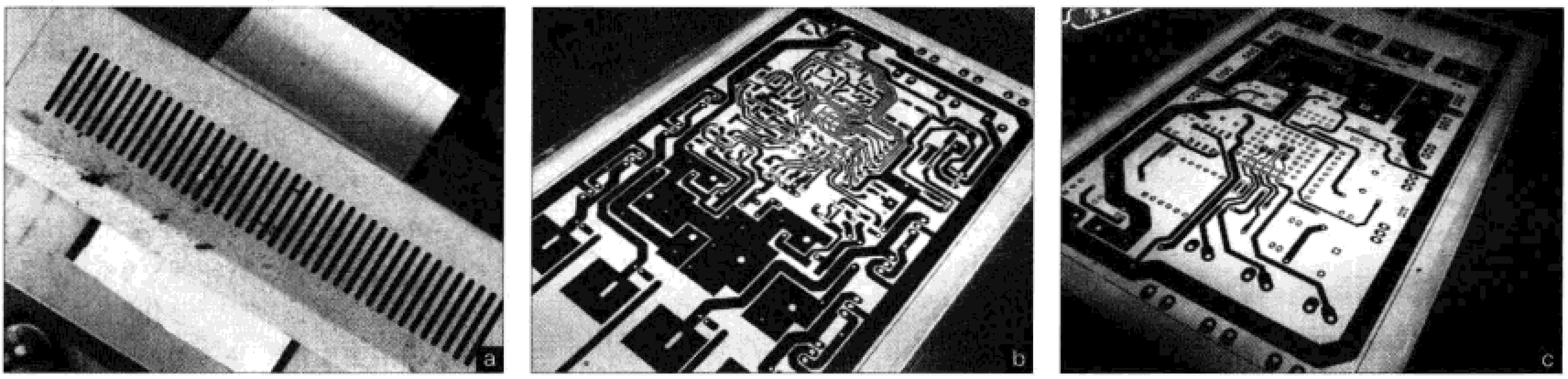


图10 在过塑机中过塑

第六步，腐蚀。腐蚀溶液仍然采用三氯化铁，在腐蚀容器中先放入待腐蚀的PCB，然后放入块状三氯化铁，倒入热水，漫过PCB约1cm左右，然后不断地摇晃容器，20min左右板子就可腐蚀完毕，然后用清水冲洗，最后用吹风机吹干。此时，可以对着灯光看一下PCB正反两面电路是否对孔，如图11所示。

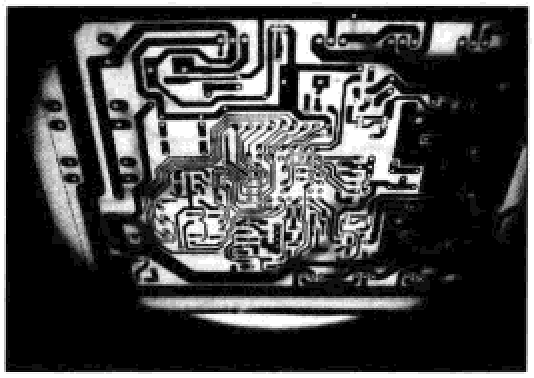


图11 腐蚀后的PCB

第七步，选用合适的钻头进行打孔，如图12所示。

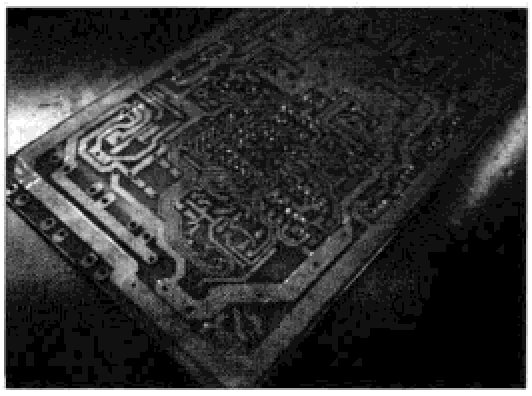


图12 对PCB进行打孔

第八步，在腐蚀容器中放入打好孔的电路板，然后倒入松香水（香蕉水），用刷子轻轻洗刷，将铜箔上的碳粉洗刷掉，最后用清水冲洗干净，用热风机吹干。

第九步，涂抹助焊剂。使用无水酒精溶解固体松香成为饱和溶液状态，用刷子均匀地涂抹在PCB表面，用热风机烘干，反复涂抹四五次，在PCB表层形成一层助焊剂薄膜，既可以防止铜箔氧化，在焊接时又方便挂锡。

第十步，检查无误后，就可以开始焊接PCB。首先处理过孔，按照前面介绍的方法，过孔可以使用0Ω电阻或者使用元件多余的管脚腿来连接两侧电路。

总结

笔者是通过不断实验，在无数失败的基础之上摸索出的上述方法。相信读者通过实践操作，不断改进，也一定能设计、制作出符合自己要求的PCB。

下一期我将继续介绍PCB设计方法——机械与电子混合设计。

第十一步，焊接电路时遵循一下规律：先矮后高，先贴片后分立，先焊接电源电路后焊接其他控制元件，焊接完成后的电路板如图15和图16所示。

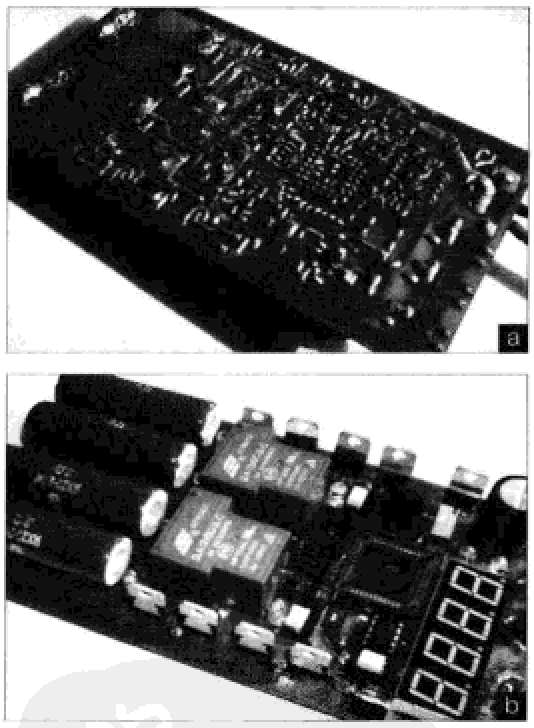


图15 焊接完成后的电路板

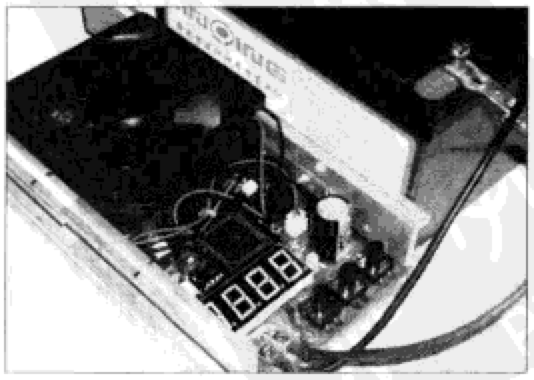


图16 制作成型的电子负载

新书推荐

写给《爱上单片机（第2版）》

ISBN:978-7-115-25512
页码：396页
定价：58元
全国各大书城及当当、卓越等网上书店有售

- 分享更多的创新制作。
- 加入更多的常见问题与解答。
- 加入了一些有代表性的读者来信和我的回复。
- 分享我的几篇评论文章。
- 将附加的CD光盘改为DVD光盘，加入了教学视频、博客文章、源程序等内容。

◎杜洋

记得整整一年前，《爱上单片机》正式出版了，全国各大书店都摆上了有我的名字的图书。第一次出书，没什么信心，坐在家里边哼着《忐忑》，边看电视，看有没有“大批读者因对《爱上单片机》不满而上街游行”的新闻报导。过了不久，消息来了，成群而来，挤进了我网站的留言区、微博评论区和电子邮箱。有表扬的，有批评的，还有先抑后扬的。不管如何，他们能花时间写信给我，就是对我的支持。第一次写书，真的没有什么经验，不过这么多读者的支持给了我很大的信心。此次第2版的出版，我修正了书中的一些错误，还加了多篇新内容。

第2版内容的修改都是读者热心建议的，除了深深地感谢，我不知所措。下面我将一部分读者的评价分享给大家，也许这些评价会坚定你学下去的信心。出于隐私考虑，我不能一一写出寄信者的名字，但重要的是，我把他们真实的感受分享了出来。虽然现在炒作、造假的事件很多，可是我可以保证，以下的来信内容都是真实的。因为版面限制做了一些删减，但大意是不变的。

杜老师：

我不算是个电子爱好者，可能是专业的需求吧，我要接触单片机。单片机课本看了好多遍，有些烦了，再后来就麻木了。唉，干脆去新华书店转转，没准能给我一个“破财消灾”的机会。你还别说，这个机会还真让我碰见了，那就是《爱上单片机》。我那被吸引的劲头没法说，晚上12点后睡觉，白天早晨7点起床不吃饭，就是看《爱上单片机》。真是着迷，我玩游戏充其量也就是这个劲头。

——玩单片机其实也是一种游戏的！

杜老师：你好！

几天来，我在你的网站上看了你的文章和视频，使我爱上了单片机，昨天下午我跑到书城找你的《爱上单片机》，单片机类图书还真是在“边角角”里。我找到了，我真幸运，就这一本被我拿下了，如果晚到一会儿，这一拨就没我的事了！连夜看下来，杜老师你讲的我能听得懂，我感到我一定能跟你学会单片机的。我要活到老、学到老，从中寻找幸福和快乐。报告老师，我是个退休的老头，16岁就学徒，没什么文化，更没什么文凭，但我有决心学会。我相信“师傅领进门，修行在个人”。今天算是向老师报到，后排角上给个位子就行，谢谢！

—— 学单片机和爱情一样，不分年纪。后排没座了，来前排吧，有老年人专座。

我也是一位80后，在一家电子公司做技术员。几年前我就想学单片机，也曾买过这方面的书籍，但书上的内容对我来说太过深奥，也因为我的工作和单片机并无关联，再加上没多少学习的时间，所以几乎要放弃了。昨天去书城买书，看到《爱上单片

机》，我的心不由一动。除了上面所说的原因外，我不懂单片机最主要的原因还是对它缺乏兴趣，于是翻开看了下，马上就被它吸引住了。我想我已经踏上了单片机入门之旅，我期待我单调的生活会起变化。

——恭喜你开始了单片机入门之旅，请跟紧导游！

在《无线电》杂志上看到《爱上单片机》一书的介绍，2010年4月出版，新书啊。于是在网上书店买了，三四天功夫就到了，迫不及待地浏览了一遍。此书的确与以前见到的大不相同，里面没有循规蹈矩地介绍8051的结构、各种汇编指令等。而是采用较轻松的方法，介绍制作电子琴、电子钟等。确实令人耳目一新，但似乎又感觉有点不对劲。像STC单片机各端口的推挽输出方式，这是闻所未闻的新知识。然而，内容似乎忽难忽易，此书让我手足无措。窃以为，单片机的基础知识还是应当介绍一下的。当然，对于业余爱好者，这俨然已经足够了。

——众口难调调众口，亦繁亦简意不同。忽难忽易谁之过？都是月亮惹的祸。

杜洋台鉴：

不好意思，叫你先生恐怕有点不妥，都是八十年代的人，论辈分，我们没有比较的条件，论年龄，你倒是比我长很多。都是八零版的，没有必要那么迂腐吧？^_^《爱上单片机》被我断断续续、前挑后选地看了很多，收益颇丰，对你想说的只有两个字：谢谢。你的书和其他的书籍相比，好比易中天上《百家讲坛》。其他单片机书籍的作者不愧是上了年岁的老者，一上来就是讲单片机的内核原理，好比看文言文，相反，你的书看上去更能“朗朗上口”，一口气能看完几页还舍不得放下，这才是初学者想要的效果。这本书作为入门教程的确不错，单片机白话文的开端，特别是针对像我们这样半路出家的“和尚”来说，与其教我禅机的奥妙，不如告诉我怎样静心打坐。我手头也有几本单片机的书籍，虽然我常看，不过是作为治疗失眠的药方，真不想贬低人家，然而好像也没有其他的词语来形容。手头一本书更是稀奇，其中单片机简介压根就是AT89S51官方资料的翻译本，照录原资料，把English转换成Chinese，然后来几个实例的源程序，附上几张实例的电路图，最后加上自己的名字，版权就归他了。我曾一度在书店捶胸顿足地叹道：这才是我想要的啊！但是买回来之后就发现问题了：囫囵吞枣，不解其意。只能照本宣科地照着实例干，最后连语句的含义都不懂。发现你的书，最初是在《无线电》杂志上，然后再到网上转了一下，有的先睹为快的人说不错，不过我没有冲动，这年头，托儿太多<^_^>。 后来的一天，按照例行公事去书店逛，顺便逛一下这个书架，发现了，不好意思，这下有点囧：书店快关门了我还想看，准备买的时候才发现只剩下30元的生活费了。接下来的几天都去书店转，那里的人现在应该都能认识我：经常来看书却很少买书的那“厮”又来了。发饷之后的第一件大事就是把“您”的大名请回我的桌上。一口气看了两个钟头，感觉像是吃了蜜。

——真不好意思，当你看到你的来信被放在《爱上单片机（第2版）》的序言里时，你就成了我的托儿了。谢谢你替我说了一些想说又怕得罪人的话。至于你说的“囫囵吞枣，不解其意”，其实是正常的，哪有那么快就全都能理解的，给自己点时间，慢慢来吧。

您的书很棒，我们的一位编辑评价说，“人生最爽的事莫过于拿过一本完全陌生领域的教材，却发现里面每一句话都能看懂”。

——人生最爽的事莫过于收到一个完全陌生领域的读者的评价，却发现里面每一句话都让我激动。

我已经买到了您出版的书。我发现自己在您的带领下已经确实爱上单片机了，感谢您。您出版的书，我已经看到一半了，深深被您轻松幽默的写作风格所吸引着。我相信我一定要把您的著作仔细地拜读，认真地钻研，努力地学习。要在玩儿中学习，并争取做到在学习中玩儿得更好。人生若能这样儿，在快快乐乐玩儿的过程中实现了自我的人生价值，此生真可谓没白活一回呀。

——谢谢你，你看出了我写这本书的目的了——让生活更有乐趣。

我是怀着愉快的心情读完《爱上单片机》的，非常喜欢这本书。比书架上类似说明书的单片机教程好多了。你的网上工作室我也看到了，做得非常雅致、精美，有着简约的设计风格。没有哪个作者会为读者做到这种程度，在此我表示深深感谢！我现在一家电子厂做技术工作，正想向设计方面发展，你的书对我非常有帮助，我会认真学习的，也希望杜工对我们这些初学者多多指点。最后希望杜工继续出书，继续出好的作品！

——我也认为我的网站做得很不错，终于遇见知音了。我会继续努力的，为了得到你的再次表扬。

你好！我是你的一名学习单片机的粉丝。不久前我买了一本你著的《爱上单片机》。此书是我有生以来读的最好的一本书。文章诙谐幽默，通俗易懂，很适合像我这样在单片机门口徘徊了两年的人。在你书的指导下，现在已逐步步入了单片机的世界，再此对你表示衷心的谢意。

——呵呵，过奖了，呵呵。

杜洋先生：

你好！虽然我的年纪比你大，请允许我这样称呼。首先感谢你写了这样一本好书！遇见它我感到很荣幸。在我看来，你的书比某些教授的书强多了。但我也想提点意见：或许因为你是北方人，我是南方人，或许因为你的时间太紧张，我感觉书中不少地方的语句不够通顺，希望再版时加以修饰。谢谢。

——嗯，我是哈尔滨人，写书的时候还真的没有考虑到南方读者的体验。谢谢你的提醒，让我有改过自新的机会。我会争取早日改正问题，回报全国的读者。

◎王超

不用电的悬浮陀螺

笔者曾经给大家介绍过一款上拉式磁悬浮控制电路的制作方法，本文中，我将给大家介绍一种下推式磁悬浮控制电路。可能有读者会问，下推式磁悬浮之前杂志上不是已经介绍过了吗，这次的悬浮陀螺和之前的下推式磁悬浮有什么不同吗？

笔者此次介绍的悬浮陀螺不需要控制电路，不用电，只使用铁氧体永磁铁，悬浮高度可达5cm，而且趣味性强！经过适当练习，相信你很快就能成为“悬浮达人”。

材料与制作

图1为制作所需原材料，具体如附表所示。

环形铁氧体磁铁A充当底座磁铁。悬浮陀螺受到底座磁铁的排斥力，当此排斥力与悬浮陀螺受到的重力大小相等、方向相反时，悬浮陀螺就可以悬浮了。铁氧体磁铁B用来制作悬浮陀螺。

在底座磁铁的规格是内径40mm、外径80mm、高度20mm的条件下，笔者也曾经试验过用其他规格的小型环形磁铁制作过悬浮陀螺，但是效果不好。笔者认为，目前用于制作悬浮陀螺的小型环形磁铁内径不宜过大，不应该比旋转轴（签字笔芯）大出太多，同时小型环形磁铁的外径也不应过大。如果您的底座磁铁不是笔者所提供的规格，那么小型环形磁铁的规格可以适当调整。图2为底座磁铁A与悬浮陀螺磁铁B的比例视图。

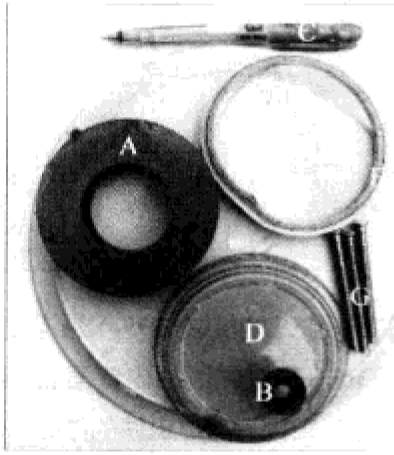


图1 制作悬浮陀螺所需材料

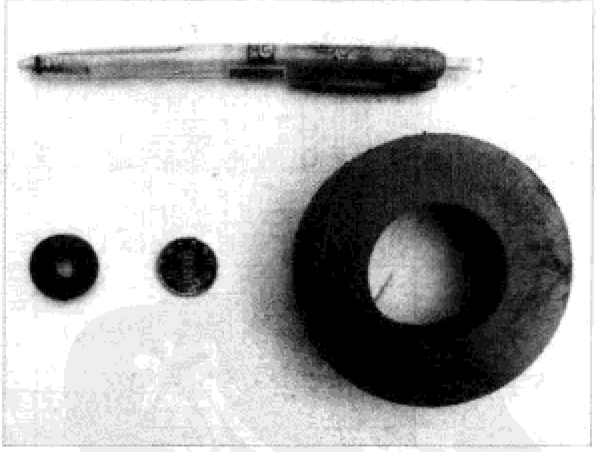


图2 环形铁氧体磁铁A与B

附表 制作悬浮陀螺所需材料清单

标号	名称	数量	备注
A	环形铁氧体磁铁	1个	内直径：40mm，外直径：80mm，高度：20mm
B	环形铁氧体磁铁	1个	内直径：7mm，外直径：20mm，高度：5mm
C	废旧签字笔	1支	利用签字笔芯制作陀螺旋转轴
D	老酸奶塑料盖子	1个	充当陀螺旋转时的托盘
E	双面胶	1卷	宽5mm，制作陀螺旋转轴，陀螺配重
F	塑料底盘	1个	直径大于80mm，盛放底座磁铁
G	螺丝，螺母	3套	非铁磁性材料，即磁铁不能吸附，用于调节塑料底盘的水平度

图3为塑料底盘。在塑料底盘的边缘均匀的钻3个孔，孔的大小应与螺母的大小相近。打完孔后将螺母填入孔中，并使用AB胶水将螺母与孔之间的缝隙填补上。

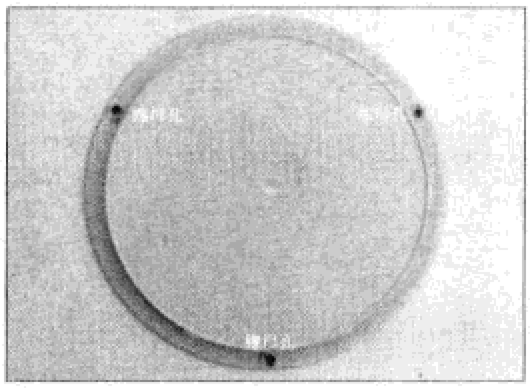


图3 悬浮陀螺塑料底盘

当螺母与塑料底盘固定好后，将螺丝拧入螺母（图4）。在3个螺丝分别安装好后，悬浮陀螺的底盘就大功告成了。

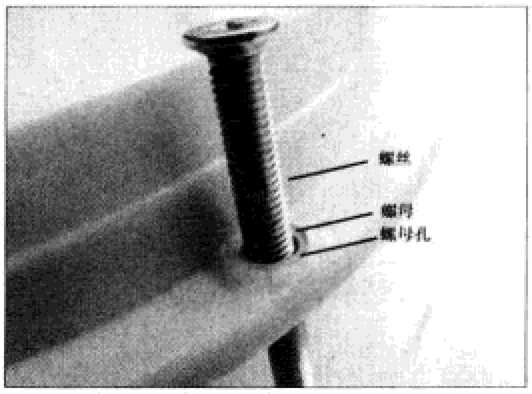


图4 将螺丝拧入螺母

现在开始制作悬浮用的陀螺。取出废旧签字笔的笔芯，并清洁干净（图5）。

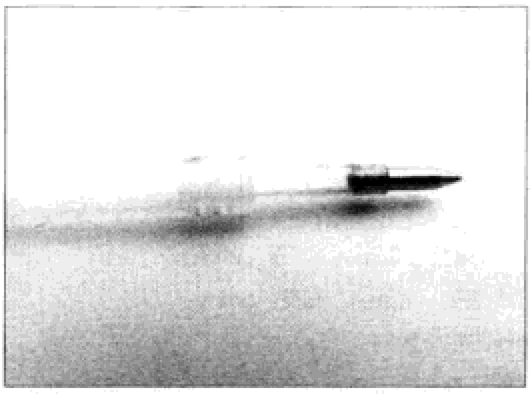


图5 废旧签字笔笔芯

将笔头去除，并将笔芯截短。笔芯余下的长度L大约为5mm（图6），因为悬浮陀螺磁铁的高度为5mm。

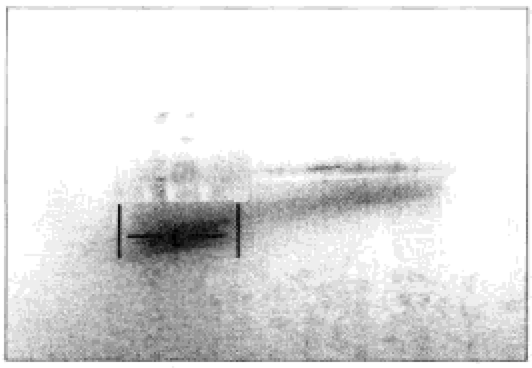


图6 去除笔头截短后的笔芯

在图6中L段缠上宽度为5mm的双面胶（图7）。注意，此时只用双面胶的胶层（正反两面都有粘性），而不用白色的阻胶层，当L段的直径在双面胶的包裹下达到大约7mm（悬浮陀螺磁铁内径大小）时即可。

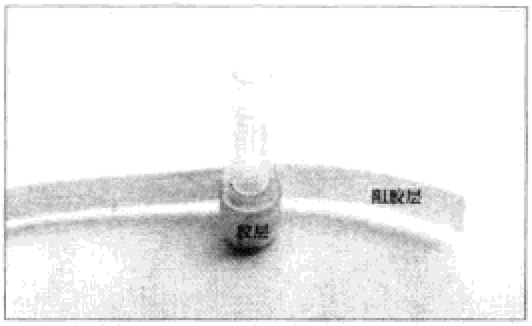


图7 L段缠上双面胶

将图8中制作好的旋转轴塞入悬浮陀螺磁铁，旋转轴应与磁铁的内壁紧密接触，以保证旋转轴位于陀螺磁铁的中心。

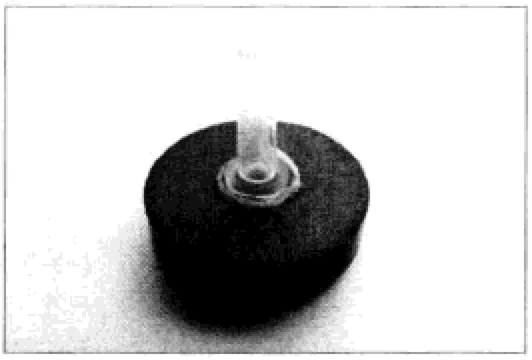


图8 将旋转轴塞入悬浮陀螺磁铁

取一根牙签截断，将截断后的一小段牙签放入旋转轴（笔芯）（图9）。牙签也应该与笔芯内壁紧密接触。然而市面上卖的牙签有粗有细，如果手头上的牙签太粗（不能插入笔芯），或者太细（不能紧紧插入笔芯），那么都不能达到要求。可以多买几种试试，或者用木柄棉签的木柄削制。

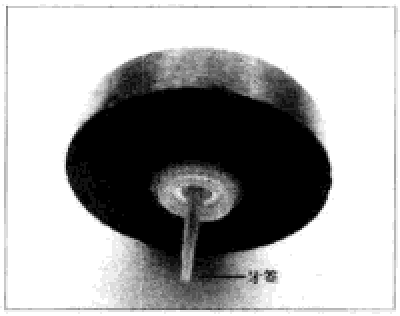


图9 小段牙签放入旋转轴

“悬浮陀螺”基本完成后，需要适当配重。将宽度为5mm的双面胶缠在悬浮陀螺磁铁的外壁上（图10）。注意，此时是将双面胶的胶层与阻胶层同时缠在陀螺磁铁的外壁，这样可以较快地改变陀螺的质量。在缠胶时应缓慢均匀，完美匀称的陀螺是悬浮的必要条件。在陀螺磁铁的外壁缠若干层即可，因为在后面的步骤中还要适当地增减陀螺的质量。

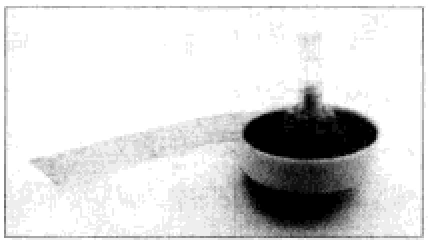


图10 双面胶缠在悬浮陀螺磁铁外壁

完成后的悬浮陀螺如图11所示。此时，你可以转动一下陀螺，如果陀螺的旋转轴没有太大的摆动，就基本上满足了要求。如果旋转轴摆动得很厉害，那就要适当调整旋转轴了。

图11 完成后的悬浮陀螺

图12中为悬浮陀螺旋转时用到的托盘。笔者用的是老酸奶的塑料盖子，甜筒冰激凌的盖子也行。

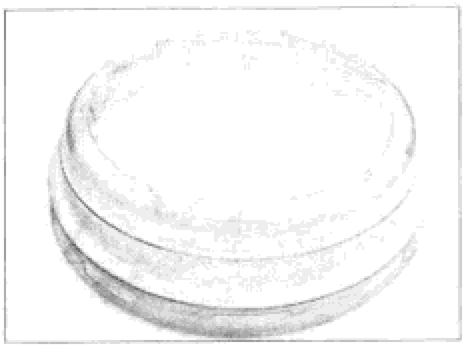


图12 悬浮陀螺托盘

将塑料底盘的3个调平螺丝大致调节在同一高度，然后将底座磁铁放在底盘上。再将托盘放在底座磁铁上。随后将悬浮陀螺放入托盘中，如图13所示。

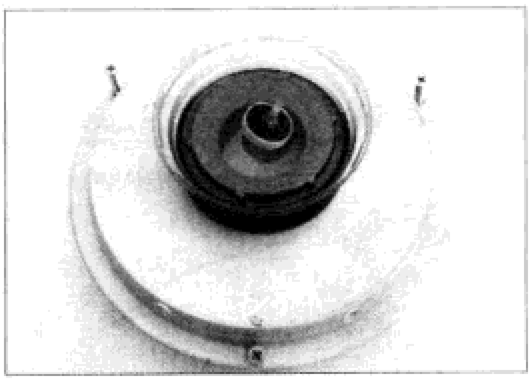


图13 悬浮陀螺放入制成的托盘中

正常情况下，悬浮陀螺会按照图14所示情况被底座磁铁吸附在内孔处。此时应注意一个细节，陀螺的下部因为底座磁铁的吸附而与托盘紧密接触。如果大家制作时发现底座磁铁排斥陀螺磁铁，那就将底座磁铁上下颠倒即可。

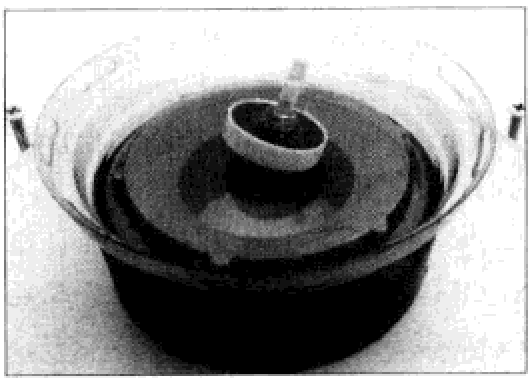


图14 悬浮陀螺吸附在内孔处

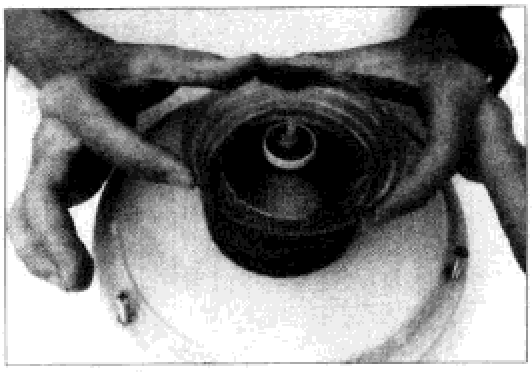


图15 旋转陀螺

陀螺质量调节与底座水平度调整

按照图15所示,将陀螺旋转起来。起初，因为底座磁铁对陀螺磁铁有很强的吸引力，再加上不熟练,大家会发现陀螺很难旋转起来。此时,可以适当抬高托盘，以使陀螺受到的吸引力减小。

如果能够将陀螺旋转起来，那就可以调节陀螺的质量了。

首先将陀螺旋转起来，然后缓慢将托盘向上托起，托的过程中不能太快，如果太快陀螺会有较大摆动。在上托过程中，陀螺的转速会改变。要想达到悬浮状态，陀螺的速度不能太快也不能太慢。通过控制托盘的上托距离与速度，可以调节陀螺的转速。当托盘达到一定高度时，陀螺会逐渐进入悬浮状态，即陀螺受到的排斥力逐渐与陀螺受到的重力相平衡。

如果你的陀螺质量合适，在上托过程中，当陀螺快要达到悬浮点时会有轻微的跳跃，即陀螺自动进入悬浮区域。如果陀螺太轻，陀螺在上托时会猛然跃起，这样是不能进入悬浮状态的。此时，可以在陀螺磁铁的外壁上再缠几层双面胶，用以增加陀螺质量。如果陀螺太重，底座磁铁的排斥力就不能与陀螺受到的重力相平衡，陀螺就不会出现微跳，并且会一直往下掉，那么就要适当减少陀螺上缠绕的双面胶了。

在上述调节过程中，大家会发现，陀螺会固定往一个方向偏离，这是底座不在水平线上且与底座磁铁磁场分布不均匀有关造成的，可以通过调节调平螺丝使陀螺不再偏离。如果你的运气好，此时陀螺基本上就可以悬浮了！

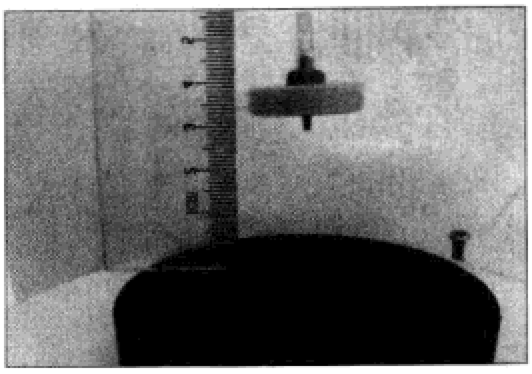


图16 悬浮起的陀螺

如果陀螺不能悬浮，那就再适当调整陀螺的质量吧。采用上述规格的磁铁，陀螺可以悬浮3.5cm以上（见图16），并且悬浮时间一般都可以达到90s。

原理简述

要想使物体稳定地悬浮在某一位置，必须使其在此位置处受力为零，并且当有外界的扰动时，必须有回复力使物体回到原位置。因此，我们可以总结一下，稳定悬浮的条件有：（1）悬浮体受到的外力合力为0，（2）有回复力使悬浮体回到原稳定点。

然而，对于满足平方反比关系的力场，其对应的位能没有局部的极大值或极小值，所以不能提供回复力。我们常见的重力场、静电场、静磁场均为平方反比力场，所以在静态条件下，不能通过永磁铁使物体达到稳定的平衡状态。

而陀螺之所以能够悬浮起来，是因为陀螺旋转时是动态平衡，而非静态平衡。当外界有轻微扰动时，陀螺会出现绕轴旋转的进动，通过进动使陀螺回到原先的稳定点。当陀螺转速下降到一定值时，进动的作用变小，陀螺就不能维持在稳定点，随即会从空中跌落。

结语

从本科一年级起，笔者就深深被磁悬浮所吸引，几年过去了，兴趣依然未减。笔者很乐意将自己的一些制作和想法同大家分享，如果有机会，我还会再给大家介绍采用抗磁性材料制作的磁悬浮。

请随手关门!

"请随手关门"提醒器

◎于一鸣　张爱迪

在自己家的房门上安装下面介绍的语音提醒器，当有人开门出入而忘记关门或未关严门扇时，它便反复发出悦耳动听的"请随手关门"语音声，直到门关好为止。

这种提醒器颇适合居住单元楼的家庭安装使用，它能有效地避免因不注意随手关妥房门而引发的不测事件！

弄懂工作原理

"请随手关门"提醒器的电路如图1所示，其核心元件为新型语音集成电路A。E为干簧管，它固定在门框上，与其对应的小磁铁固定在门扇边沿上。平时，房门关闭时干簧管E受小磁铁产生的磁场作用，其内部两常开触点被磁化互相吸合，电容器C1两端被E短路，语音集成电路A的触发端TG得不到高电平触发信号，A和晶体三极管VT均不工作，扬声器B无声。

当房门被人打开时，小磁铁就会随门扇被移开，干簧管E失去外磁场作用，其内部两触点依靠自身弹性跳开。电池G通过电阻器R1对电容器C1充电，经过约8s，C1两端充电电压达到一定数值（约0.65V+1/2V_{DD}），晶体二极管VD导通，语音集成电路A的触发端TG获得高电平触发信号，A内部电路工作，其输出端OUT反复输出内储的"请随手关门"语音电信号，经晶体三极管VT功率放大后，推动扬声器B反复发出响亮的提醒语，直到关好房门为止。房门关闭后，小磁铁随门扇一起又靠近干簧管E，使E内部两触点重新吸合，快速将电容器C1两端的充电电荷泄放掉，则扬声器B最多只发出一遍"请随手关门"声即停止，电路又进入守候工作状态。

如果出入房门者在开门后8s之内关妥了房门，因电容器C1两端充电电压尚未达到语音集成电路A的触发值，故提醒器不会工作。

电路中，电阻器R1、电容器C1组成语音集成电路A的延时触发电路，其数值大小影响每次开门后提醒器推迟发声的时间长短。R2为A外接振荡电阻器，其阻值大小影响语音声播放的速度和音调。C2是退耦电容器，在电池快用旧时，可有效避免语音声产生的畸变，相对延长电池使用寿命。

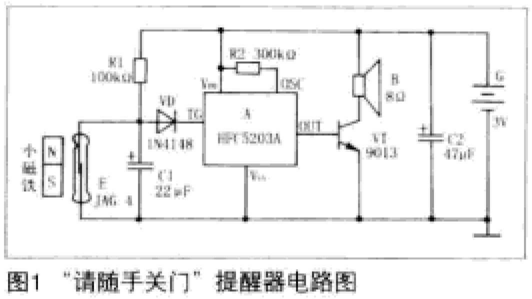


图1 "请随手关门"提醒器电路图

准备好元器件

图2所示是该制作所用元器件"全家福"实物照片，读者可按图索骥进行选购。

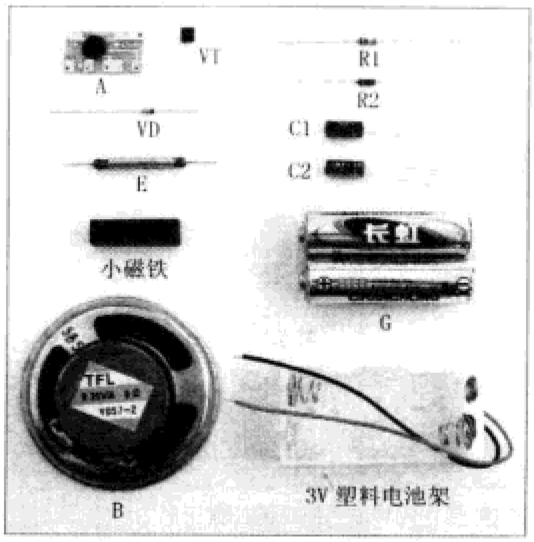


图2 需要准备的元器件实物外形图

A选用HFC5203A型语音集成电路芯片，它采用黑胶封装在一小块尺寸约为24mm×12mm的小印制电路板上，俗称软封装，安装使用很方便。HFC5203A的主要参数：工作电压范围2.4～5V，触发电流≤40μA；当工作电压为3V时，实测输出电流≥3mA、静态总电流<0.5μA；工作温度范围-10～60℃。

VT用9013（集电极最大允许电流ICM=0.5A，集电极最大允许功耗PCM=625mW）或3DG12、3DX201、

3DK4型硅NPN中功率晶体三极管，要求电流放大系数β＞100；VD用1N4148型硅开关二极管。

C1、C2均用CD11-25V或CD11-16V型电解电容器。R1、R2均用RTX-1/8W型碳膜电阻器。E选用体积较小的普通JAG-4或JAG-3型常开触点干簧管。小磁铁最好选用磁性较强的条形永久磁铁。一般来说，小磁铁体积越大，其磁性也越强。从市售磁性碰锁或废旧磁性铅笔盒中拆出来的磁铁，使用效果就挺不错。B用φ57mm、8Ω、0.25W小口径动圈式扬声器。G用两节5号干电池串联（需配上塑料电池架）而成，电压3V。

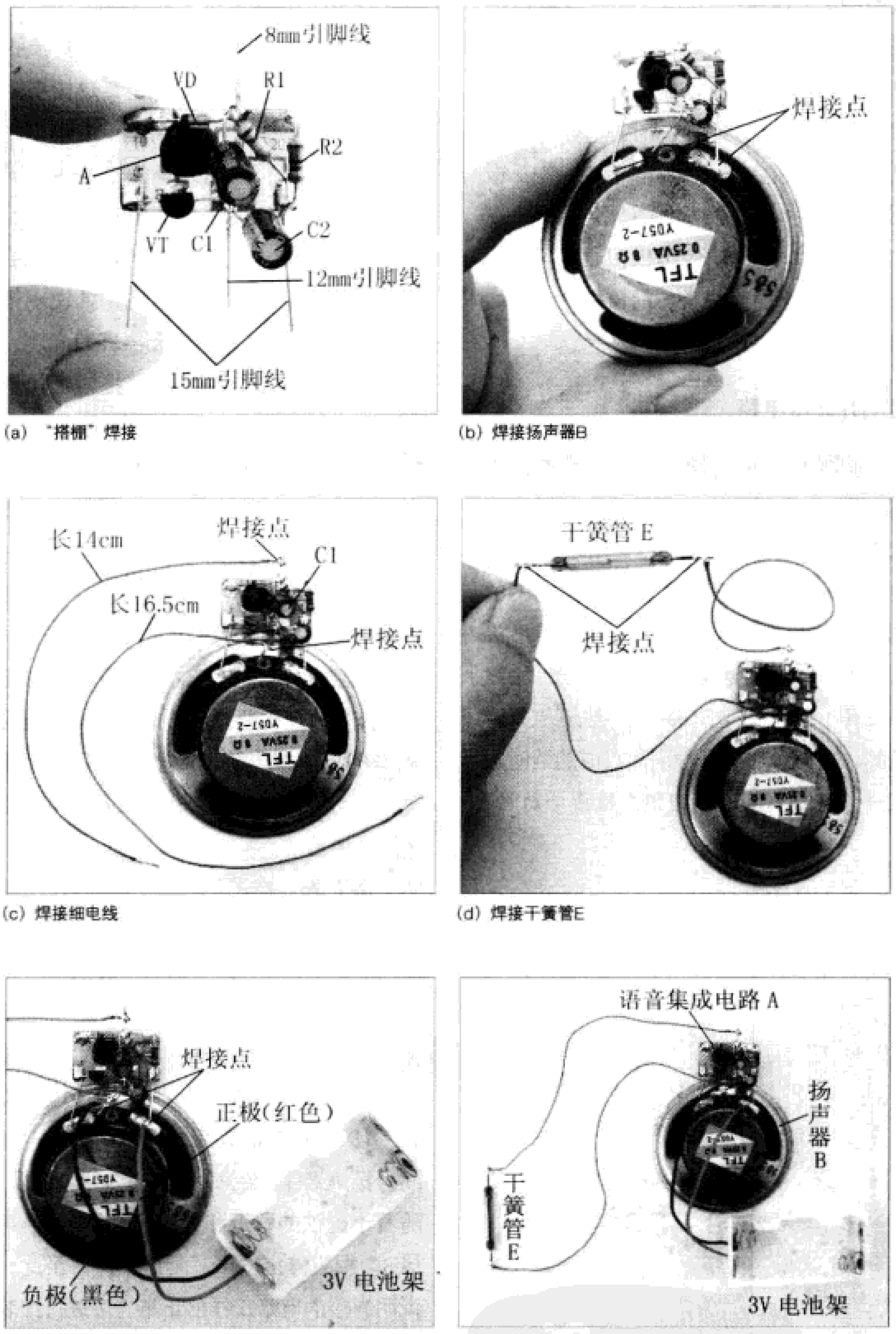
开始动手制作

整个提醒器的制作过程，可分为焊接电路机芯、检测并调试电路、整机组装三大步骤，现分步介绍如下：

1. 焊接电路机芯

图3所示为该提醒器的电路焊接图。焊接时电烙铁外壳要良好接地，并注意点焊时间不要超过2s，以免损坏集成电路；助焊剂宜用普通松香，不能用焊油或焊膏。

焊接过程见图4：首先，参照图3给出的接线图，以语音集成电路A的小印制电路板为基板，按照图4（a）所示，在它上面直接“搭棚”焊上电阻器R1和R2、电容器C1和C2、晶体二极管VD、晶体三极管VT等，注意电容器C1的正、负极两



(a) “搭棚”焊接 (b) 焊接扬声器B (c) 焊接细电线 (d) 焊接干簧管E (e) 焊接电池架 (f) 焊接好的电路

图4 焊接流程

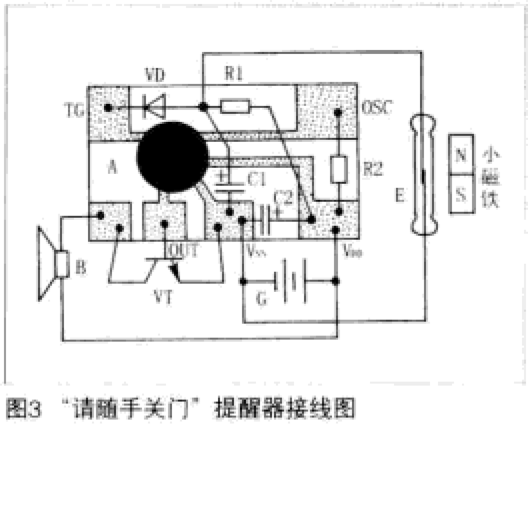


图3 “请随手关门”提醒器接线图

个引脚线在焊点以外分别保留约8mm和12mm的长度、电容器C2的正极引脚线在焊点以外保留约15mm，另外晶体三极管VT的集电极焊点处应焊接出15mm的元器件引脚线，以便于下一步焊接。

然后，按照图4（b）所示，通过语音集成电路芯片A的印制电路板上预留的两根15mm长的引脚线，将电路板焊接在扬声器B的两个接线端上。按照图4（c）所示，在电容器C1正、负极的预留引脚线上分别焊接上一根长度约14cm和16.5cm的细电线。两细电线的另一端，

按照图4（d）所示，不分极性分别焊接在干簧管E的两个引脚线上。

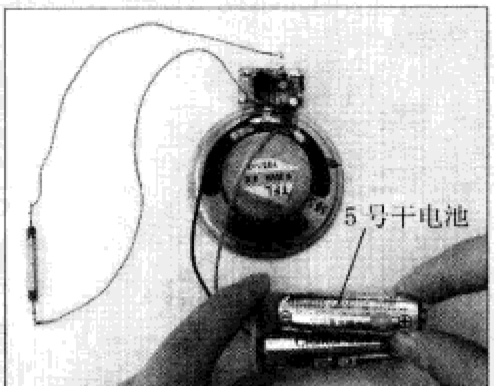
最后，按照图4（e）所示，通过塑料电池架自带的10cm引线，将正极线（红色）焊接在扬声器B与电容器C2正极相连的接线端上，负极线（黑色）焊接在电容器C1负极（与C2负极相通）焊点所预留的12mm引脚线上。焊接好的电路如图4（f）所示。

检测并调试电路

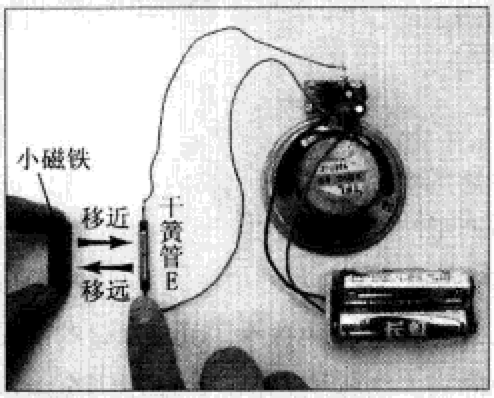
将焊接好的电路与图3所示的接线图、图4所示的实物流程图反复对照，确认焊接无误后，按图5（a）所示，给3V电池架装上两节5号干电池，经过约8s的延时，扬声器B会反复发出“请随手关门”声。如果接通电源后，扬声器B始终不发声，说明由电阻器R1、电容器C1、晶体二极管VD、干簧管E等组成的延时触发开关电路有问题，应重点检查干簧管E是否在没有小磁铁靠近的状态下一直处于接通状态，晶体二极管VD是否焊反极性、电容器C1是否漏电严重，这里要强调的是，电容器C1一定要选用漏电小的正品。由于标称耐压越高的电容器，其漏电相对于标称耐压低的电容器要小，所以C1应尽量选择标称耐压较高的电容器。如果排除了这些可能性，就说明语音集成电路A及其后面的元器件有问题。这时，可用一根电线的一端接语音集成电路A的触发端TG（晶体二极管VD的负极），另一端接电源G的正极，如果扬声器B不发声，说明语音集成电路A或晶体三极管VT、扬声器B有问题，应检查并进行更换，如果扬声器B发声，则说明语音集成电路A获得的触发电流太小，应适当减小电阻器R1的阻值试一试，直到排除故障为止。但需要指出，如果减小了电阻器R1的阻值，电路延时触发时间将会缩短，这可通过适当增加电容器C1的容量来进行调整。

接下来，按图5（b）所示，将小磁铁移近干簧管E（即模拟关门），则扬声器B最多只发出一遍“请随手关门”声即停止。如果扬声器B发声不停止，说明干簧管E内部触点不能够可靠接通，应检查其性能并更换好的。将小磁铁移远干簧管E（即模拟开门）后，经过约8s延迟时间，扬声器B又会开始发声。如此反复，随着小磁铁的移近和移远干簧管E，扬声器B会相应停止发声、延迟发声。至此，说明焊接的电路工作已正常，可进行组装并投入实际使用了。

如果嫌小磁铁远离干簧管E（即模拟开门）后，扬声器B延迟发声的时间太长（或太短），可通过适当减小（或增大）电阻器R1或电容器C1的数值来加以调节。如果嫌语音声速度太快（或太慢），可通过适当增大（或减小）电阻器R2的阻值来加以调节，R2取值范围可以在240～390kΩ。另外，R2阻值大、模拟

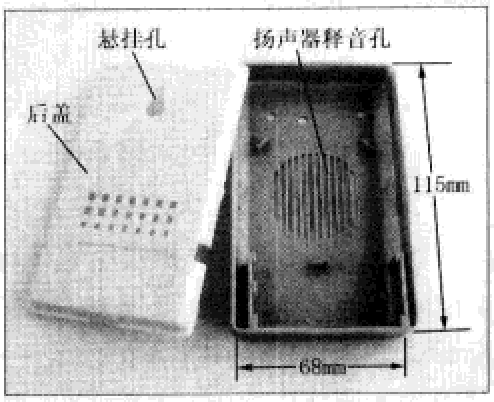


(a) 装上干电池

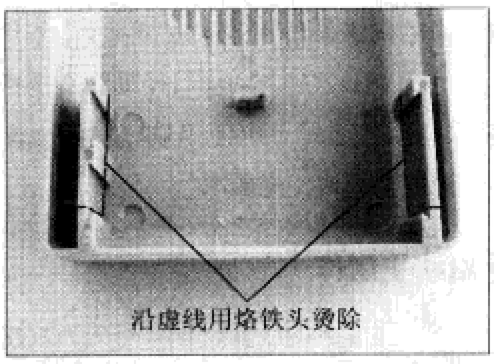


(b) 移动小磁铁

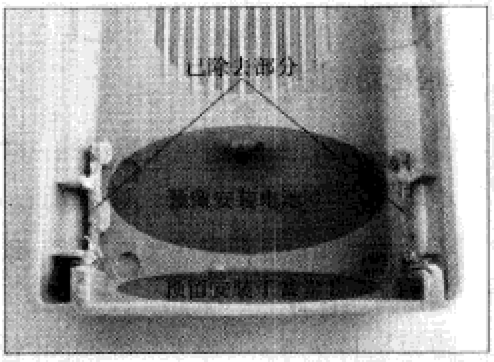
图5 检测电路性能



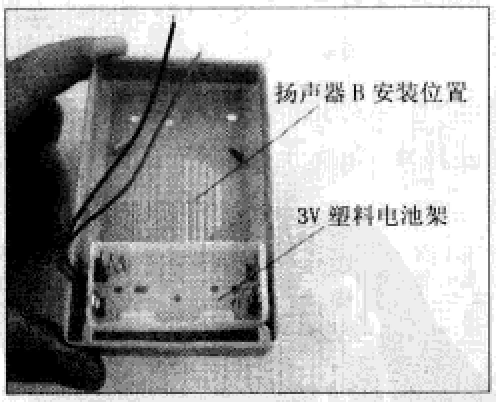
(a) 选外壳



(b) 除塑架



(c) 腾地方



(d) 容塑架

图6 外壳的加工改造

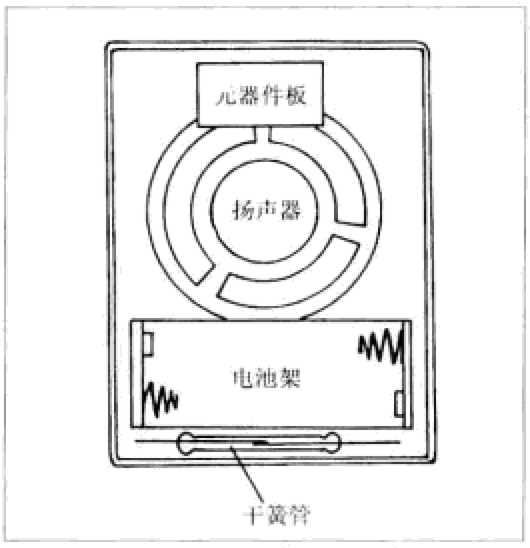


图7 “请随手关门”提醒器装配图

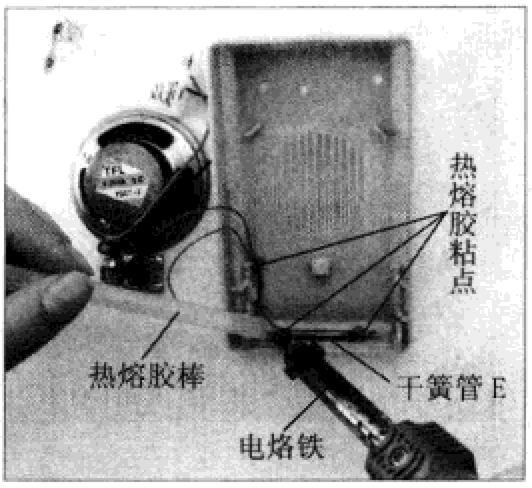
声频率低、音速慢，似男声。阻值小时，频率高、音速快，似女声。这里要说明的是，图1所提供的元器件参数是经过反复实践得出来的典型值，一般情况下只要正确选择并焊接好电路，不必进行任何调试，就可以获得满意的使用效果。

3. 进行整机组装

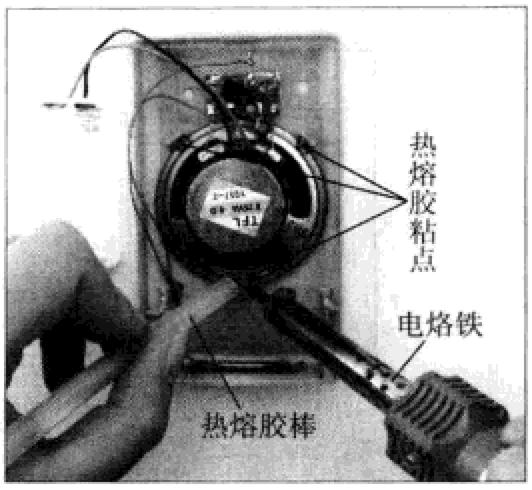
提醒器的外壳采用如图6（a）所示的，尺寸约为115mm×68mm×25mm的普通电子门铃外壳最理想。这种电子门铃外壳使用很普遍，读者既可以使用拆自普通的废旧电子门铃外壳，也可以到电子元器件市场去购买。如果无法获得合适的电子门铃专用外壳，也可采用体积差不多的其他绝缘材料小盒（如塑料香皂盒等）来代替。

电子门铃外壳在使用之前应进行适当的加工改造，具体是按照图6（b）所示的虚线，将外壳内部原有的“一体化”塑料电池架用电烙铁烫掉，成为图6（c）所示的样子，以便在外壳底侧位置腾出地方固定干簧管E，并且还能够像图6（d）所示的那样，容纳下所配的3V塑料电池架。

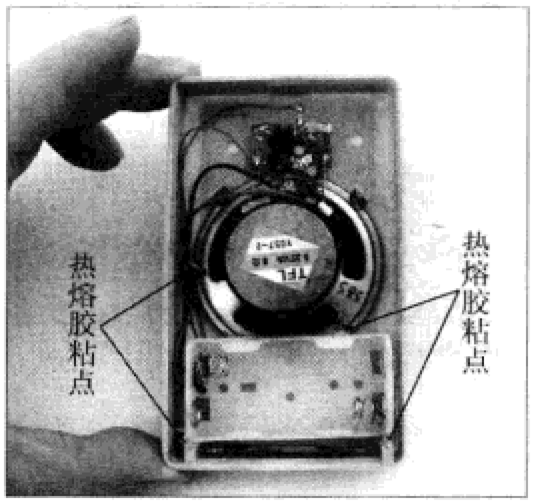
整个提醒器电路除小磁铁外，全部装入所选机壳内，其机壳内元器件的安装



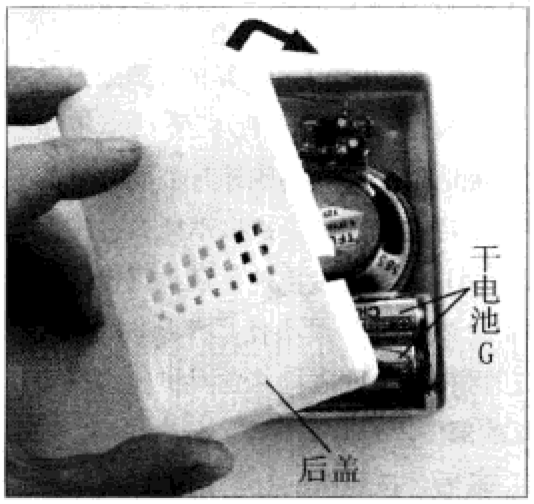
(a) 粘固干簧管E



(b) 粘固扬声器B



(c) 粘固引线等



(d) 合上后盖

(e) 粘贴标签

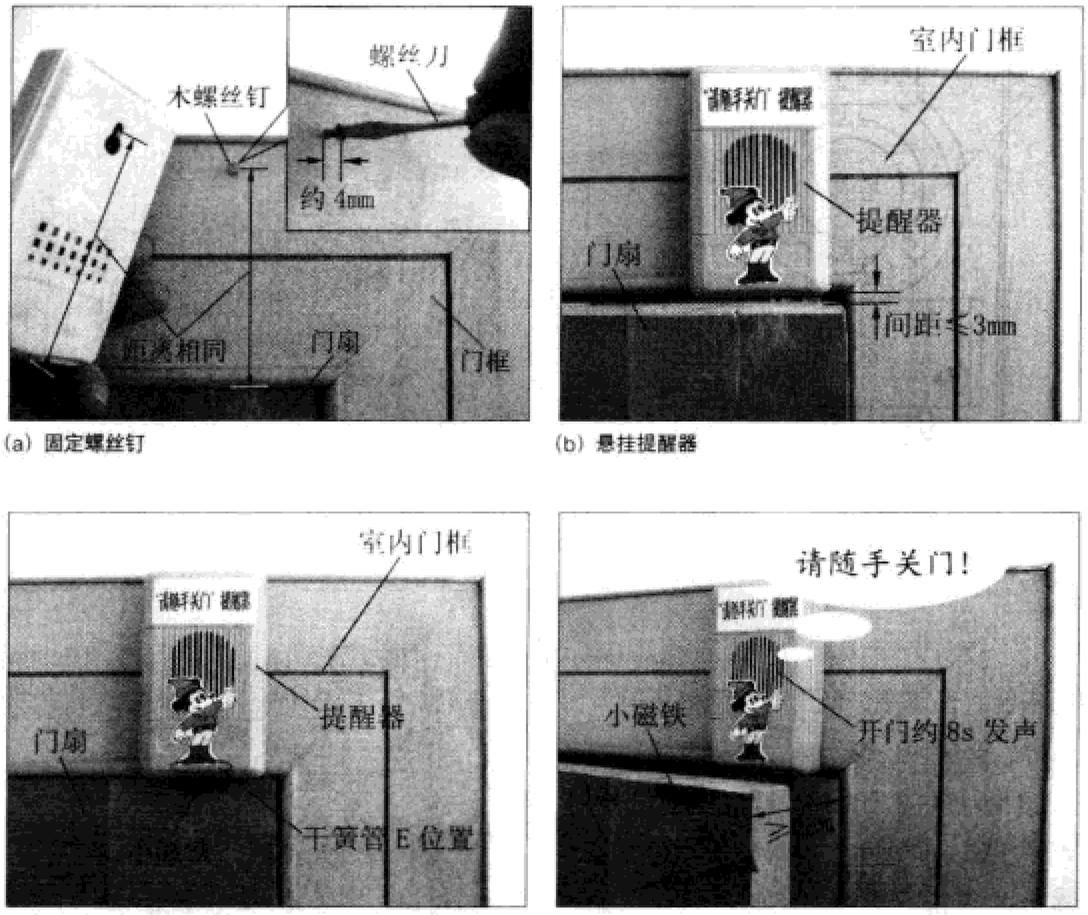
(f) 完成品

图8 组装流程

位置如图7所示。注意：干簧管E不像有些制作必须要用导线引出盒外，将它紧贴盒内壁底部水平固定即可。

具体组装流程如图8所示：首先，按照图8（a）所示，采用电烙铁加热热熔胶棒的简便方法，将干簧管E用热熔胶（或透明胶带纸）粘固在机壳内壁的底部位置。按照图8（b）所示，将扬声器B亦用

图9 “请随手关门”提醒器安装图



(a) 固定螺丝钉
(b) 悬挂提醒器
(c) 粘固小磁铁
(d) 工作情形

图10 实际安装流程

热熔胶粘固在机壳内所给定的位置处。

然后，按照图8（c）所示，将引线、电池架等用热熔胶进行粘固，使其具备一定的抗拉扯、抗振动能力。按照图8（d）所示，给电池架装上干电池，并合上后盖。为了不使扬声器B持续发声，可将小磁铁靠近并正对机壳内干簧管E的部位。

最后，按照图8（e）所示，在机壳面板上部贴上制作名称文字标签，在下部适当位置处贴上美化装饰图案。文字标签可用打印机在有色卡纸上打印出大小合适的“‘请随手关门’提醒器”或“语音型关门提醒器”文字，用双面不干胶粘贴在机壳上部。美化装饰图案可采用现成的彩色卡通“不干胶”贴图，将其粘贴在机壳下部适当位置处。装配好的提醒器外形如图8（f）所示，外观还算漂亮吧！

投入实际使用

使用时，按图9所示将提醒器小盒挂在房内门框顶部，小磁铁则对应盒内底部的干簧管E固定在门扇里侧边沿处。反复细调提醒器小盒与小磁铁间的相对位置，使门紧闭后，干簧管E能可靠吸合；门稍一移开，干簧管E又能马上动作为止。

图 10 所示是实际安装流程图：首先，在准备安装提醒器的房门里侧确定好安装位置，并按照图 10（a）所示，在门框适当位置固定一枚 ϕ3mm×15mm 的木螺丝钉，不要全部旋入门框，必须留出长 4mm 左右的螺丝钉（包括帽），用来悬挂提醒器。然后，按照图 10（b）所示，将提醒器挂在这颗螺丝钉上面，使提醒器底部与门框边沿基本对齐（提醒器稍高一些，与门扇间距≤3mm 为宜，避免底部被移动的门扇刮碰）。最后，按照图 10（c）、图 10（d）所示，在门扇里侧边沿处正对提醒器底部干簧管 E 的位置，用双面胶粘固小磁铁即可，要求随着门扇的关闭和打开，即小磁铁接近和离开，提醒器内底部的干簧管 E 能够可靠动作。注意：小磁铁接近（门关闭）和远离（门打开）提醒器时，机壳内的干簧管 E 均会发出轻微的“嘀—哒”声。应仔细寻找能够使干簧管 E 动作最为灵敏的位置固定小磁铁。如果发现不能使干簧管 E 可靠动作，可改用体积大一些的磁铁，以增大磁作用力。

该提醒器不仅适用于家庭房门安装使用，而且还适合在银行、商店、机要室以及使用空调器、供应暖气的房间门口安装使用。一般只要门被打开2cm左右，提醒器就会可靠发出提醒语，这对于看似门已关闭，但实则未关严的房门而言，具有可靠地警示作用，可有效防止失盗等不测事件的发生。

由于整个提醒器电路尽可能地采用了微功耗设计，所以用电十分节省。实测电路静态耗电＜30μA，工作时不超过140mA；每换一次新干电池，一般可使用近一年的时间。

常用元器件的识别与使用（28）

◎张晓东

本领不凡的压敏电阻器

压敏电阻器简称“VSR”，是20世纪70年代开发出来的一种对电压变化十分敏感的非线性过电压保护半导体器件。压敏电阻器的电阻值会随着电压的增加而急剧下降，具有限压型伏安特性，可广泛应用于抑制和吸收各种电子及电气电路中存在的过电压信号。由于普通压敏电阻器属于无极性两端过电压保护器件，所以无论是应用于交流电路还是直流电路，只需将其并联在被保护设备的电源输入端或相关元器件的两端，即可达到各种过电压保护目的。

压敏电阻器具有温度系数小，电压范围宽、抑制过电压（或耐浪涌电流）能力强，响应速度快，寿命长，体积小，价格便宜等优点，目前在各种电子、电气设备中得到广泛应用。下面向初学者介绍常用氧化锌（ZnO）压敏电阻器的识别与使用方法。

如何识别压敏电阻器

1. 结构及特点

常见压敏电阻器的基本结构如图1所示，它采用典型的半导体陶瓷工艺制作。其核心材料为氧化锌（或碳化硅、钛酸钡等），而氧化锌的微观结构中又包括氧化锌晶粒和晶粒周围的晶界层。氧化锌晶粒的电阻率很低，而晶界层的电阻率却很高，晶粒与晶界层的接触面之间形成一个相当于齐纳二极管的势垒，构成一个压敏单元。每个单元的击穿电压大约为3.5V。在压敏电阻器内许许多多的这种单元进行串联和并联，便构成了压敏电阻器的基体。串联的单元越多，其击穿电压就越高；基片的横截面积越大，相当于并联的导电路径越多，其允许通过的电流（通流容量）也越大。压敏电阻器在工作时，每个压敏电阻单元都能承担浪涌能量，也就是说整个电阻体都能承担能量，这不像半导体稳压二极管（齐纳二极管）那样只是结区承受电功率，这就是压敏电阻器为什么比半导体稳压二极管能承受大得多的通过电流并且吸收能量的原因。

压敏电阻器的伏安特性曲线如图2所示。我们知道，普通电阻器两端接上电压时，流过电阻器的电流与所加电压的关系成正比（即遵从欧姆定律），其伏安特性呈线性。但压敏电阻器不同，它的伏安特性不遵从欧姆定律，而是呈特殊的非线性关系。当压敏电阻器两端所加电压在标称电压（临界数值）以内时，其电阻值几乎为无穷大，仅有微安级（≤50μA）的电流通过，器件处于高电阻状态；而当其两端的电压超过标称电压后，一个小的电压增量会引起一个大的电流增加，此时电阻

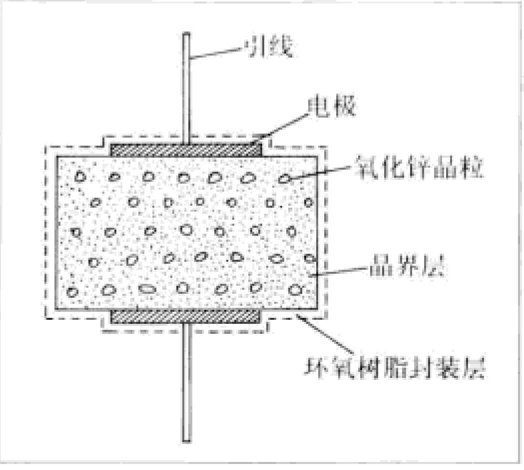


图1 压敏电阻器的基本结构

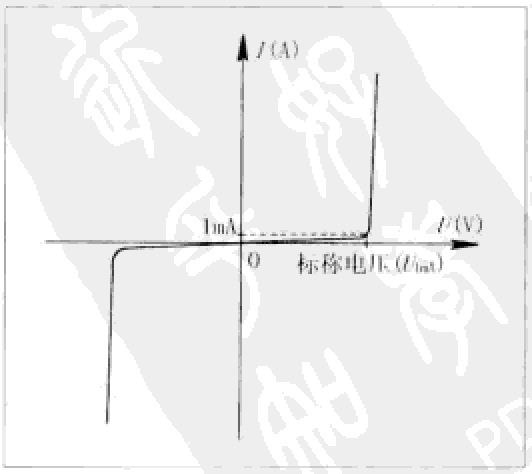


图2 压敏电阻器的伏安特性曲线

值急剧下降，器件处于导通状态，其工作电流可猛增至数十至上千安培（A），而反应时间仅为纳秒（ns）或毫秒（ms）级。只要压敏电阻器的工作状态不超过极限值，则在其两端电压回落至标称电压值以下时，它的电阻值又会恢复到接近无穷大。

压敏电阻器在国外又被称为“斩波器”、“限幅器”等，我国台湾地区还被称为“突波吸收器”，这是从其实际用途得名的。利用压敏电阻器的限压特性，可以限制被保护电路自身或外部侵入的异常冲击电压，并可抑制浪涌电流，以保护电路中的元器件不被损坏。比如，当供电网络叠加有过电压脉冲时，若接上合适的压敏电阻器，则过电压峰值波形将会被削平，并被限制在一定的幅度内。又如，在电话机进线的两端并接上合适的压敏电阻器，可起到瞬态过电压保护作用，能够有效防止雷电等对电话机造成的损害。与其他过压保护器件相比，压敏电阻器具有抑制过电压能力强、响应速率快、漏电流小等优点，而且其体积小、可靠性高、价格低廉，因此被广泛应用于各种电子电气电路中作为过电压保护、防雷、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消噪、保护半导体元器件等作用。

2. 外形及种类

常见压敏电阻器外形比较单一，按安装方式不同区分，可分为图3所示的插接式和贴片式两大类。大多数插接式压敏电阻器的外形与高压圆片形瓷介电容器的外形非常相似，区别在于压敏电阻器的扁圆片往往显得稍厚一些。

压敏电阻器的种类很多，按其结构不同可分为：体型压敏电阻器（其伏安特性的非线性主要是由电阻体本身的半导体性质形成）、结型压敏电阻器（其非线性主要由电阻体与金属电极间的非欧姆接触形成）、膜状压敏电阻器等。按其材料来分类，可分为氧化锌压敏电阻器、碳化硅压敏电阻器、钛酸钡压敏电阻器、金属氧化物压敏电阻器等。按其伏安特性可分为无极性（对称型）和有极性（非对称型）压敏电阻器。

常用压敏电阻器几乎全是氧化锌体型压敏电阻器，它是一种具有电压、电流对称特性的无极性压敏电阻器。这种产品主要用来保护各种电子产品或组件免于受开关或雷击等诱发所产生的“突波”影响，其非线性指数的特性与用途的多样性，以及可以廉价批量生产等优点，使其得到广泛应用。

3. 主要参数

压敏电阻器的参数有标称电压、通流容量、允许误差、漏电流、残压比、电压比、电压（电流）温度系数、电压非线性系数、静态电容量、额定功率等多种，初学者在业余制作或维修时只需要掌握以下三项参数即可。

（1）标称电压（U_{1mA}）。也称压敏电压、击穿电压或阈值电压，它是指压敏电阻器通过 1mA 直流电流时，在其两端所施加的电压值，常用 U_{1mA} 表示，其单位是伏特（V）。当加到压敏电阻器两端的电压超过标称电压时，压敏电阻器的阻值将会急剧减小。

（2）通流容量。也称通流量，是指在规定的条件（以规定的时间间隔和次数，施加标准的冲击电流）下，允许通过压敏电阻器上的最大脉冲（峰值）电流值。实际使用时，要求短时间（几微秒至几毫秒）内流过压敏电阻器的最大脉冲（峰值）电流不得超过通流容量。

（3）漏电流。也称等待电流，是指在压敏电阻器两端加有75%标称电压时，通过压敏电阻器的直流电流。压敏电阻器的漏电流通常小于50μA。该值实际上反映了压敏电阻器在接入电路后，平时所消耗的功率大小，漏电流愈小愈好。

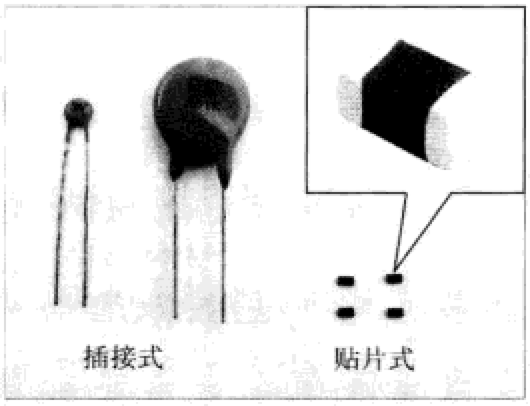


图3 常用压敏电阻器实物外形

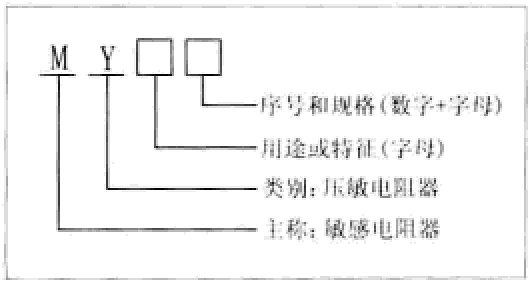


图4 国产压敏电阻器的命名规则

4. 型号命名

国产压敏电阻器的型号命名遵循了敏感电阻器（包括光敏电阻器、热敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器、磁敏电阻器等）的统一命名规则，其型号一般由四部分组成，格式和含义如图4所示。第一部分用汉语拼音字母“M”表示“敏感电阻器”。第二部分用汉语拼音字母“Y”表示“压敏电阻器”。第三部分用汉语拼音字母表示用途或特征，如“L”表示防雷用、“H”表示灭弧用、“E”表示消噪用、“B”表示补偿用、“C”表示消磁用、“G”表示高压保护用、“M”表示防静电用、“W”表示稳压用、“K”表示高可靠型、“N”表示高能型、“P”表示高频型、“T”表示特殊型、“Z”表示组合型等。注意，有些通用型产品省略了该部分字母。第四部分用数字表示产品序号，有的在序号的后面还标有标称电压、通流容量、尺寸（如扁圆片电阻体的直径）、电压误差（用字母表示）等。例如，MYL1-1型表示防雷用压敏电阻器，其序号为1-1；MY31-270/3型表示标称电压为270V、通流容量为3kA的普通压敏电阻器，其序号为31。

附表给出了一些常用国产压敏电阻器的型号及性能参数，仅供参考。

5. 产品标识

常用压敏电阻器作为一种两端、无极性过压保护器件，其体积越大（扁圆片型产品直径越大），通流量也就越大。故通过对比体积大小，参考附表的参数可粗略判断其通流容量的大小。

通常，压敏电阻器的外壳上都直接标出型号（包括后缀的规格），如图5（a）所示。由于常见压敏电阻器的体积相对于一般的阻容元器件来说都比较大，所以有的产品在其壳体上标出型号的同时，还像图5（b）所示的那样，在型号后面单独标出它的重要参数——标称电压和通流量等。实际中，还有许多通用型压敏电阻器都不标出型号，而只标出产品尺寸、标称电压及其误差等参数，如图5（c）所示。注意，图中“361K”的含义为：“361”表示标称电压为$36\times10^{1}=360V$，“K”表示误差为±10%（如果是字母“L”，则误差为±15%）。若标注为“360”，则表示标称电压为$36\times10^{0}=36V$。

还有一些体积比较小的压敏电阻器，只标出标称电压，如图5（d）所示。要了解这类产品的具体特征和其他参数，就只能查看厂家提供的说明书了。

如何使用压敏电阻器

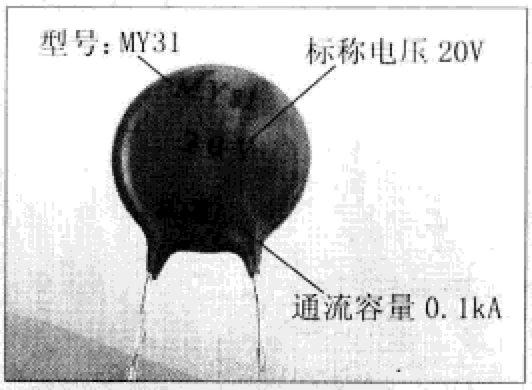
1. 在电路图中的识别

压敏电阻器的符号如图6左边所示，它是以普通电阻器符号为基础，增加一条斜线，并在斜线一端标出斜写字母“*U*”，以明确表示这是一只电阻值与电压相关的压敏电阻器。当同一个电路图中出现多个压敏电阻器时，可按习惯在文字符号“RV”（或R）后面加上数字编号，以示区别。在一些进口电器（主要是日本产品）的图纸中，压敏电阻器常采用图6右边所示的符号，读者应熟知。

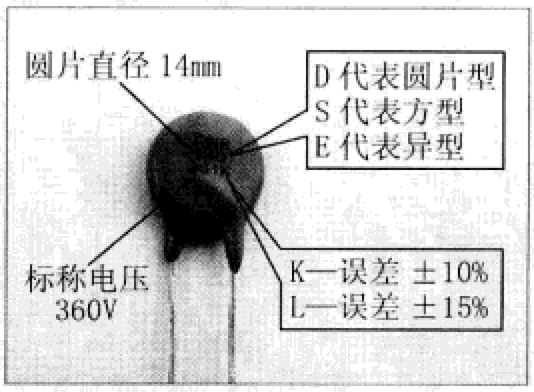
附表　常用国产压敏电阻器的性能参数

型号	标称电压 U1mA(V)	允许误差 (±%)	通流容量 (A)	电容量 (pF)	漏电流 (μA)	外形直径 D(mm)
MYH1-470/0.5	470	10	500	400	≤10	10
MYH1-470/1			1000	900		14
MYH3-05D18	18	15	40	3300	≤10	5
MYH3-20D18			800	50000		20
MYH3-05D56	56	10	40	1000	≤10	5
MYH3-07D56			100	1700		7
MYH3-10D56			200	4000		10
MYH3-14D56			400	9000		14
MYH3-20D56			800	16000		20
MYH3-05D100	100	10	200	200	≤10	5
MYH3-20D100			3500	4700		20
MYH3-05D430	430	10	200	45	≤10	5
MYH3-20D430			3500	1100		20
MYH3-14D1800	1800	10	2000	55	≤10	14
MYH3-21D1800			3500	250		21
MYL07DK	22~82	10	100		≤10	7
MYL10DK			200		≤10	10
MYL20DK			1000		≤10	20
MYL25DK			3000		≤20	25
MY31	18~27	20	100~1000	1600~22000	≤80	5~25
	33~82			900~7000		
	100~180	10		80~4800	≤50	
	228~270		100~5000	65~2000		
	300~1100			50~1500		
	1200~1300	5		40~1000	≤30	
	1500~2000		500~5000			

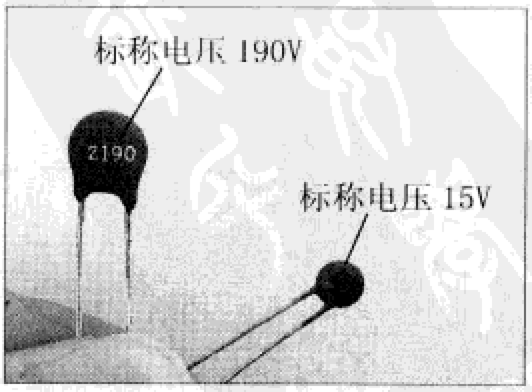
(a) 标出型号



(b) 标出型号和参数



(c) 仅标出参数值



(d) 仅标出电压值

图5 常用压敏电阻器的标注方法

2. 简易测试方法

业余条件下，通过直观查看来衡量压敏电阻器品质的标准是：外观应很整洁、无裂缝、引脚牢固可靠。除此以外，借助普通万用表等仪表可进行下面简单的检测：

（1）判断好坏。按照图7（a）所示，将普通MF50型指针式万用表（或其他万用表）拨至“R×10k”电阻挡，红、黑表笔不分极性接所测压敏电阻器的一对引脚，正常时万用表指针读数应为无穷大（表针不动）。如使用数字万用表测试，显示屏将显示溢出符号“1”。若万用表读数为0Ω，则说明被测压敏电阻器内部已短路损坏。若万用表显示一定读数，则说明被测压敏电阻器内部存在漏电或已经被击穿损坏。还有一种情况是被测压敏电阻器正常，但其击穿电压低于万用表内部“R×10k”电阻挡所用电池电压（15V或9V），但这种压敏电阻器一般很少接触到。

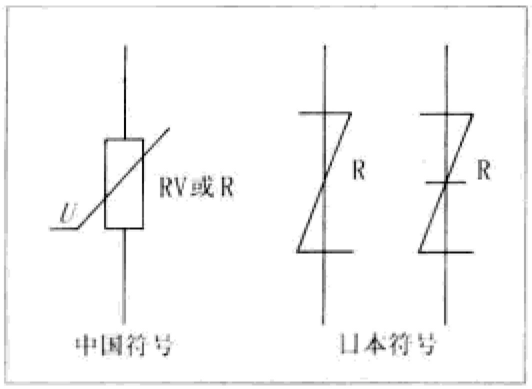


图6 压敏电阻器的符号

如果碰到这样的情况，将指针式万用表拨至“R×1k”电阻挡（表内电池电压为1.5V）再进行测试，即可避免出现这种现象。

需要说明的是，在按照上述方法测得压敏电阻器引脚间的电阻值为无穷大时，并不能完全确定所测器件完好。也就是说，通过测量引脚间的电阻值，只能判断压敏电阻器内部是否存在短路或漏电故障，而无法判断内部是否存在开路故障。为此，业余条件下不妨用具有电容测量功能的数字万用表（如UT60E或DT889、VC9208、ET-1700型等）测量压敏电阻器两引脚间的电容量。因为正常的压敏电阻器存在着固有的静态电容量，其电容量在几十至上万皮法（pF）之间。显然，测不出电容量的压敏电阻器，其内部肯定是发生了开路故障。

（2）测量标称电压。按照图7（b）所示搭接好电路。压敏电阻器的标称电压按规定应在1mA的电流下测得。ZC25-4型兆欧表（也叫摇表、绝缘电阻表）的最大输出电压为1000V、最大输出电流为1～2mA，正好满足测试要求。将一块指针式万用表拨至直流电流2.5mA挡，用于监测电流，将另外一块万用表拨至直流电压挡（要求最大量程应大于所估计的被测压敏电阻器的标称电压），用于测量被测压敏电阻器RV两端的电压值。

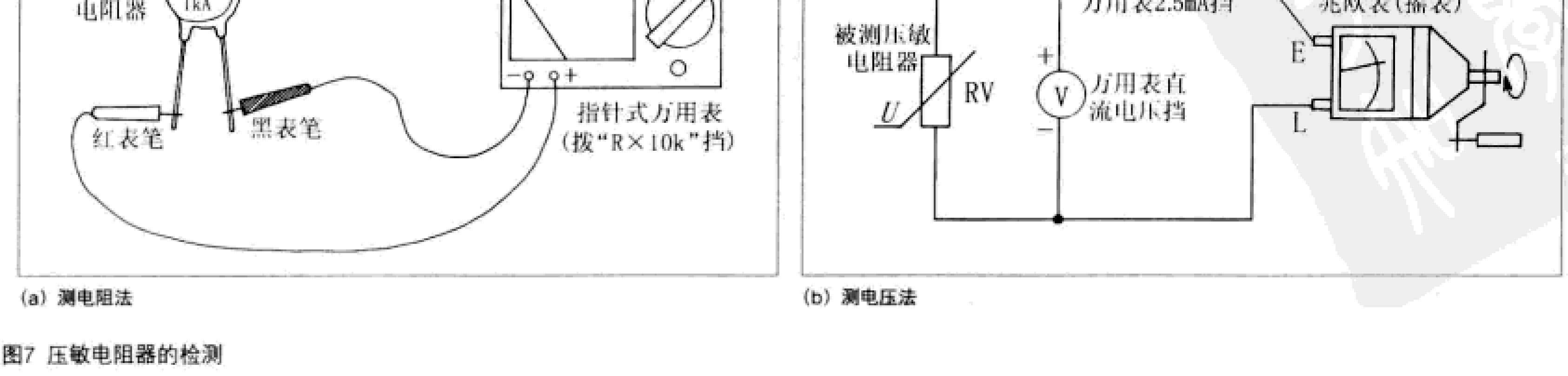
摇动兆欧表的手柄，使其输出端输出的电压加在被测压敏电阻器RV两端，则用于测量电压的万用表指针开始向右偏转，而用于测量电流的万用表指针基本不动。继续匀速摇动兆欧表，则测量电流的指针会随着电压的上升开始产生偏转。当电流指针指向1mA左右时，电压指针所指示的读数即为被测压敏电阻器的标称电压值。

3. 使用常识

压敏电阻器在家用电器和其他电子设备中，主要用作电压保护、电路的“突波”能量吸收和消除噪声等，正确选择和使用压敏电阻至关重要。下面介绍一些使用者所必须要掌握的最基本、最有用的知识和技能：

（1）压敏电阻器品种较多，在实际应用时应首先按照电路的特点，确定是选用插接式还是贴片式。然后根据应用电路的不同需要，选用不同用途的压敏电阻器，如高压保护专用压敏电阻器、防雷专用压敏电阻器、灭弧专用压敏电阻器、高可靠性压敏电阻器等。最后，根据应用电路的工作电压和具体要求，选择好标称电压（压敏电压）值、通流容量（最大峰值电流）等主要电参数。当然，在使用之前还可对其进行必要的检测，以判断它是否能用。

（2）压敏电阻器标称电压值的正确选择关系到保护效果与自身的使用寿命。一般标称电压值应选择大于实际电路的工作电压值。标称电压值选择得越低保护灵敏



(a) 测电阻法　(b) 测电压法

图7 压敏电阻器的检测

度就越高，但是标称电压值选得太低，非保护状态下流过压敏电阻器的电流也会相应较大，这会引起压敏电阻器自身损耗增大而发热，严重时还会将压敏电阻器烧毁。在实际应用中，压敏电阻器标称电压可按“$U_{1mA}=1.5\times U_{DC}$”来估算，U_{1mA}表示标称电压，U_{DC}表示加到压敏电阻器两端的直流电压值。

在220V交流电路状态下，要考虑到电压峰值，因此计算结果应该扩大$\sqrt{2}\approx1.414$倍，估算公式应为“$U_{1mA}=2.12\times U_{AC}$”，$U_{AC}$表示加到压敏电阻器两端的交流电压有效值。例如：要将一个压敏电阻器接220V的交流电压时，应选标称电压$U_{1mA}=2.12\times U_{AC}=2.2\times220V=466V$左右的压敏电阻器。显然，标称电压是470V的压敏电阻器，在各种家用电器中使用较为普遍。

（3）一般来讲，通流容量大的压敏电阻器，其体积也相应较大。在选定压敏电阻器的通流容量大小时，主要考虑压敏电阻器是用来防雷还是防止电子设备内部的过电压。如果主要用于防雷，可选用防雷型压敏电阻器，它们的通流容量有3kA、5kA、20kA等不同品种。一般实测交流供电线路感应雷击电压的峰值为工作电压的3.5倍左右，雷电流在200A～30kA（瞬时值）范围内，绝大部分小于10kA，可根据电路实际情况合理选择。而电子设备内部操作时产生的浪涌电流一般都小于500A（瞬时值），可选用通用型压敏电阻器。

（4）压敏电阻器在电路中可以并联或串联使用。并联使用时可增加耐浪涌电流的能力，其通流容量为各单只压敏电阻器数值之和，但各并联压敏电阻器的标称电压一定要保证一致，否则会引起分流不均匀进而造成器件的过流发热损坏。串联使用时可提高实际使用的标称电压值，要求各串联压敏电阻器的通流容量保持一致，串联后总的标称电压值为各串联压敏电阻器标称电压值之和。

（5）同一电路中可出现用途不同的多个压敏电阻器，在进行制作或维修时应注意区分。例如，彩色电视机中可同时出现3个压敏电阻器，一个用在电源电路中作为过电压保护元件，以起到防止雷击等异常过电压对电源电路造成的危害。另一个用在行输出变压器中作为过电压保护元件，以防止打火产生的过电压击穿行输出管等元器件。还有一个用在显像管电路中作为过电压保护元件，以防止显像管内部打火或其他原因产生的过电压对周围元器件造成损害。

（6）压敏电阻器本身具有一定的固有电容量（称静态电容或寄生电容），由于品种、标称电压、通流容量的不同，其固有的电容量相差很大，一般分布在40pF～0.05μF范围内。例如，常用MYH3-20D18型压敏电阻器的静态电容为0.05μF，MYH3-05D100型的静态电容为200pF，MYH3-05D430型的静态电容则为45pF。在选用压敏电阻器时应考虑接入电容对原电路是否造成影响这一因素，以不影响电路的正常工作为原则。在高频电路中使用压敏电阻器时，宜尽量选用高频型压敏电阻器。

（7）压敏电阻器作为一种具有瞬态电压抑制功能的器件，其特点是瞬时功率强大，但平均持续功率小，在导通后不能持续通过强电流，否则会造成器件过热损坏。例如，彩色电视机中所用压敏电阻器的平均持续功率多为1W左右，但它的瞬时功率可达到数千瓦，在8～20μs的冲击电压脉冲作用下可瞬间通过50～2500A的电流。基于这样的特点，在一些过电压保护电路中，还需要考虑对压敏电阻器本身的保护（主要是避免通过持续的强电流）。图8所示即是这样的一个典型电路，它利用熔断器F既对电路设备进行保护，同时又对压敏电阻器RV进行保护。这种“熔断器＋压敏电阻器”构成的双保护电路，可谓珠联璧合，使保护功能更加尽善尽美。

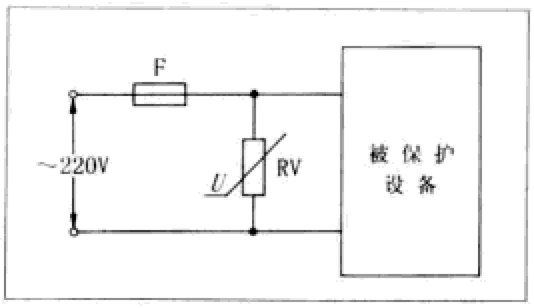


图8 典型的过电压保护电路

该电路的保护原理是：在正常工作时，220V交流电通过熔断器F给被保护设备供电。当由于某些因素（如雷电窜入电网）造成市电电压瞬间上升，或因供电线路发生错相而造成220V交流电突然升高为380V时，上升的电压通过熔断器F加到压敏电阻器RV两端，使压敏电阻器RV快速击穿而阻值变小，流过熔断器F和压敏电阻器RV的电流急剧增大，熔断器F很快熔断，既避免了压敏电阻器RV持续通过大电流而损坏，又切断了被保护设备的供电，防止了高压损坏电路设备。在熔断器F熔断后，由于压敏电阻器RV具有自我恢复功能，其电阻值很快又变为无穷大。当更换熔断器F后，电路又可重新工作了。如果在熔断器F两端再并接上一个交流220V指示灯，则当熔断器F熔断后，指示灯会发光，可直观指示熔断器F已损坏。

（8）压敏电阻器在使用时，应避免阳光的直接照射，不应靠近发热器件安装，要留有一定的间距（≥3mm），以保证它在规定的温度范围内正常工作。通常压敏电阻器都是并联在被保护设备或过电压源的两端，要求安装部位应尽可能地靠近被保护对象，并且接线应有足够的耐压和截面积，走线应尽量短而直，以保证峰值很大的浪涌电流能被压敏电阻器快速吸收。另外，普通压敏电阻器不能用丙酮等溶剂清洗，以免破坏包封的环氧树脂。其存放环境温度不得高于40℃、相对湿度不能大于75%*RH*，且周围不可有腐蚀性气体。

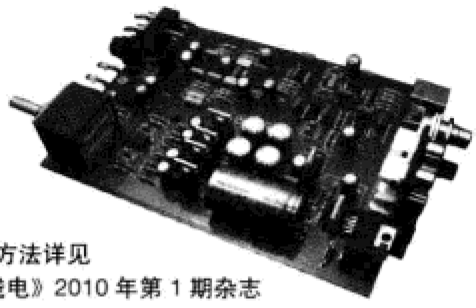
套件天地

购买方式：

1. 邮局汇款：
   北京市东城区夕照寺街14号A座
   《无线电》杂志社收
   邮编100061，请在汇款单上注明相应套件名称及联系电话。
2. 淘宝店购买：
   http://boqu.taobao.com

MINI USB DAC套件
580元/套+15元（邮费）

特点：（1）采用BB公司新型解码芯片PCM1793和高品质数字接收芯片DIR9001。（2）耳放部分采用了OP+BUF的框架模式，采用中功率管作为放大输出，能驱动例如H600等高档耳机。（3）创新采用单转双电源电路和虚地设计，使本机有较高的信噪比。（4）全部采用高品质的元器件，所有的5环电阻为日本KOA金属膜，电容为nichicon的音响专用系列，固体电容大量使用的是德国WIMA，电位器采用的是ALPS 大蓝壳，面板为高精度CNC加工。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 1 期杂志

用光驱制作CD转盘套件
99元/套+15元（邮费）

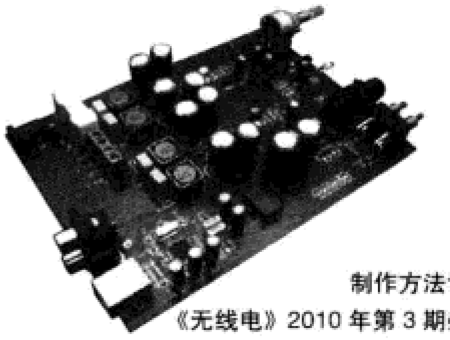
特点：光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放 CD 的控制板，网上称它为 CDROM 控制器，CDROM 控制器是通过 IDE 接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现 CD 机的基本功能，如：显示时间、曲目等；用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

制作方法详见
《无线电》2010 年第 2 期杂志

MINI USB AMP套件
290元/套+15元（邮费）

特点：采用BB公司新型的HIFI高品质D类放大芯片TPA3121，同时配合USB接收解码芯片，组成带有USB功能的纯后级D类放大器，本放大器具有极高的效率，在小体积中实现2×50W功率。

本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为 12～25V 直流，电流必须达到 3.5A 以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加 60 元。
②增加 USB 接收部分，需加 65 元。
③电位器升级为 ALPS 型，需加 35 元。

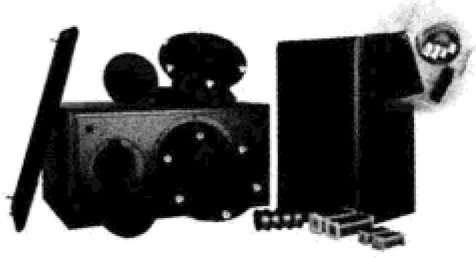


制作方法详见
《无线电》2010 年第 3 期杂志

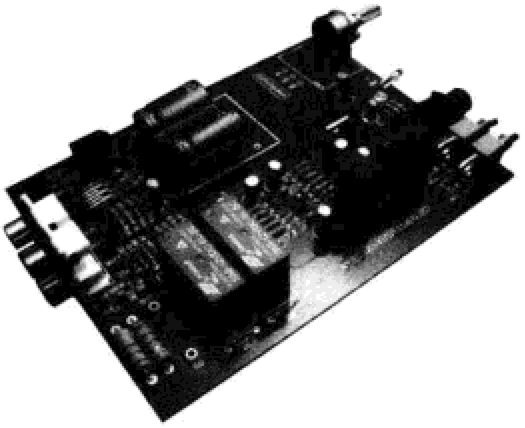
Clair音箱套件
3080元+100元（邮费）

特点：这是二分频书架音箱套件，高音和低音均采用挪威SEAS扬声器单元，高音单元前面板采用了DXT技术，可以有效地改善高音的离轴响应及指向性，便于与低音单元衔接，减少障板的衍射等。

注：（1）因为套件重量为 23kg，所以箱体发物流，扬声器单元发快递，运输费为 100 元，偏远地区的用户必须到就近的大城市自提套件。（2）本次套件数量有限，仅接收本刊淘宝店订购。



制作方法详见《无线电》2010 年第 8 期杂志



测量套件
99元/套+15元（邮费）

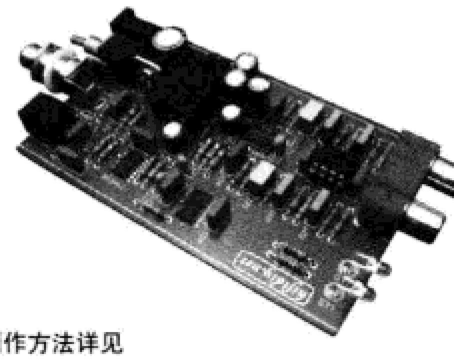
特点：本套件主要用来配合计算机声卡测量扬声器和音箱的各项参数，是一款DIY音箱简单实用的测量工具。

制作方法详见
《无线电》2010 年第 5 期杂志

MINI 1793 DAC套件
190元/套+15元（邮费）

特点：套件使用TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134。套件采用小体积极限设计。

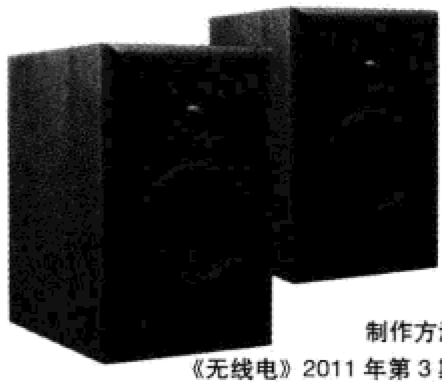
散件套件：（PCB+PCB上所有元件）190元/套+15元邮费
整机套件：（散件套件+变压器+机壳）260元/套+15元邮费



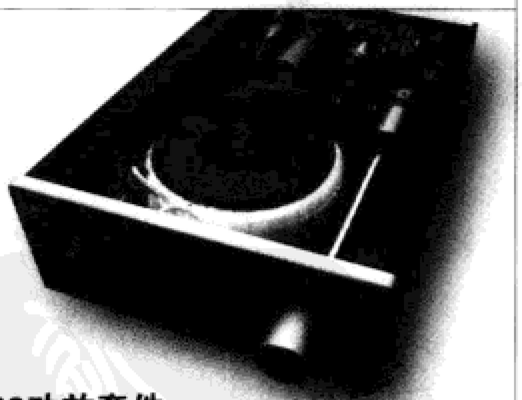
制作方法详见
《无线电》2010 年第 10 期杂志

E5多媒体音箱套件
680元/套+运费到付（50～100元不等）

特点：ELFE E5是专为小型居室和桌面音响设计的多媒体音箱套件，箱体尺寸为17（宽）cm×29（高）cm×24（深）cm，其频率响应为60~30000Hz ±3dB，灵敏度为86dB/W/m，阻抗为4Ω，建议功率：10~50W。高音采用1英寸钕磁球顶高音单元，低音采用5英寸Nomex磁屏蔽低音单元。此音箱的最大特点是，即使置于狭小空间也丝毫不会影响动态和音场再生。



制作方法详见
《无线电》2011 年第 3 期杂志



X-60功放套件
780元/套+30元（邮费）

特点：X-60 功放套件精密而复杂，安装前请一定要仔细了解说明！本功放使用的是国家半导体的芯片 LM4780。该芯片是一款立体声音频放大器，可以为每一声道连续提供平均高达 60W 的输出功率。在 20Hz~20kHz 的频率范围内其总谐波失真及噪声（THD+N）都不超过 0.5%。

制作方法详见
《无线电》2011 年第 4 期杂志

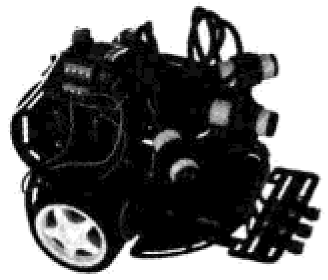
Arduino入门基础套件
359元/套+15元（邮费）

特点：Arduino基础入门套件是一款学习工具。它帮助你用流行的Arduino工具体验电子科技无穷的乐趣。所有套件零件无须焊接，直接在面包板上插拔即可，非常适合学习。另外，本套件还附带了10节实验课程，非常适合Arduino互动媒体爱好者、机器人爱好者、电子爱好者学习使用。

制作方法详见《无线电》2010 年第 10 期杂志

3PA机器小车套件
639元/套+15元（邮费）

特点：3PA机器小车采用2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮，运动灵活快速，适合在室内的平坦路面行进。小车使用Arduino控制器，编程简单。车身有很多安装孔，可以加装传感器、舵机、摄像头等，实现监控、寻线、避障等功能，可以用于机器人教学实践，也可用于机器车比赛。

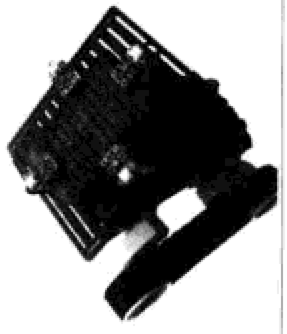


制作方法详见
《无线电》2010 年第 11 期杂志

基于Arduino的太阳能收集装置套件

特点：由路虎5履带小车、2自由度舵机云台、DFRduino Romeo 328控制器、Xbee传感器扩展板、光线传感器、太阳能电池板等组成，可随时检测周围环境光的亮度，并让太阳电池能板转动到光线最强的方向。

元件名称	参考价格
DFR0026模拟环境光线传感器	10×4元
2自由度DF15MG舵机云台	259元
多孔原型钣金板	59元
Xbee传感器扩展板V5	75元
DFRduino Romeo 328控制器	300元
太阳能电池板	50元
路虎5履带小车	188元

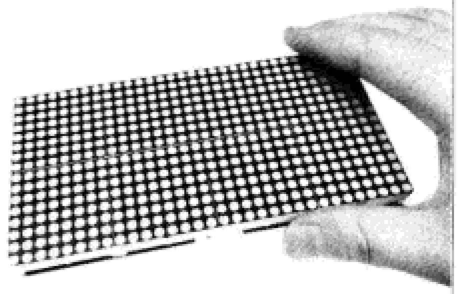


Arduino Sensor 9件套装
180元/套+15元（邮费）

特点： 包括 LM35 线形温度传感器（模拟）、环境光线传感器（模拟）、倾角传感器（数字）、触摸传感器（数字）、磁感应传感器（数字）、震动传感器（数字）、大按钮模块（数字）、灰度传感器（模拟）、LED 发光模块（数字）、3 根模拟传感器连接线和 6 根数字传感器连接线，是学习 Arduino 初级应用的最佳搭配。搭配 XBee 传感器扩展板 V5，使用起来更加方便。另有高精度传感器见淘宝店介绍。

Mini3216电子时钟套件
198元/套+15元（邮费）

特点：超薄设计，整机厚度只有一片 PCB 加上 LED 屏的厚度；单片机直接驱动所有 LED 屏，电路 DIY 制作简单，无需驱动芯片；公历及农历的重要节日提醒功能；4 键全电容触摸式按键；32×16LED 点阵屏显示，全中文界面；DYS8100 高精准时钟芯片，一年内误差小于 1 分钟；早 8 点到晚 8 点整点报时功能；流动、渐变亮度式显示切换，精致 UI 设计；亮黑色镀金电路板，长久使用不褪色；超薄多功能连接排线，如无线般美观。



制作方法详见《无线电》2011 年第 2 期杂志

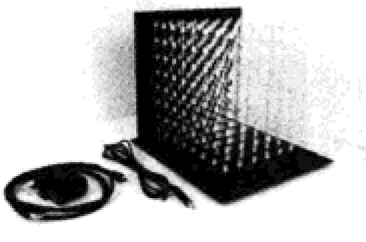
6自由度机械臂套件
1280元/套+15元（邮费）

特点：6自由度机械臂采用高强度铝合金材料，由Arduino控制器加6个微型伺服电机（舵机）来实现控制，分别对应于臂、肘、腕（2个自由度）、张合5个关节和1个旋转底座，每个关节可在一定范围内运动，底座可以实现左右90°旋转。机械臂上的夹持器能轻松夹起最大直径58mm、大小100g以上的物品。这款机械臂可以用手柄或无线遥控模块进行操控，是个非常不错的制作项目和机器人演示教学平台。

制作方法详见《无线电》2010 年第 12 期杂志

CUBE8光立方套件
430元/套+15元（邮费）

- ◆ 8×8×8LED阵列3D光立方体显示器。
- ◆ 黑色镜面PCB、全镀金焊盘和LOGO，高端品质。
- ◆ 高亮蓝色雾面LED灯，达到光立方极佳视觉效果。
- ◆ 连贯图形显示效果，浑然一体，一气呵成。
- ◆ 混合式触摸电源和模式按键，操作更稳定。
- ◆ 电源具有常开、常关、光线自动控制方式。
- ◆ 显示模块有快速、中速、慢速三挡设置。
- ◆ 4挡亮度的夜灯模式，可营造你的室内气氛。
- ◆ 2种音频显示模式，可随音频同步显示。
- ◆ “精简I^2C”接口，全开放式用户自定义操控。
- ◆ 创新设计的LED阵列制作模板，让LED阵列制作简单快速。



制作方法详见《无线电》2011 年第 7 期杂志

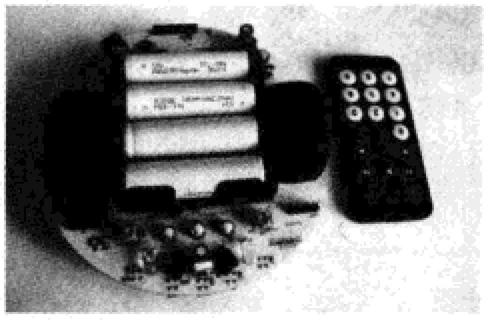
“面包板入门电子制作”盒装套件
148元/套+15元（邮费）

特点：六宫格元件盒，内含：面包板、电池与电池盒、插接面包板专用线、LED灯、数码管、扬声器、电阻、磁铁、电容、蜂鸣器、电位器、话筒、干簧管、二极管、光敏电阻、微动开关等。可在面包板上完成数十个基础电路的搭建和设计，并配有不断更新的《无线电》杂志相关文章和高清教学视频，适合单片机爱好者的电路基础入门及中小学生的电子技术兴趣入门。

使用介绍从《无线电》杂志2012年第1期开始连载。欢迎个人、学校及校外教育机构团购。

MiniQ 2WD二轮机器车套件
379元/套+15元（邮费）

特点：MiniQ 2WD是款只有手掌大小的二轮驱动机器车，底盘上装有两个红外发射管、1个红外接收头、5个mini循线传感器、2个光敏电阻、4个蓝色的LED灯，可实现避障、循线、寻光、遥控、唱歌等功能。另外，还可以利用红外接收头配合附送的mini遥控器，实现遥控功能。MiniQ 2WD既可以在Arduino环境下开发编程，也可以在AVR环境下开发编程。本套件为无需组装的成品。



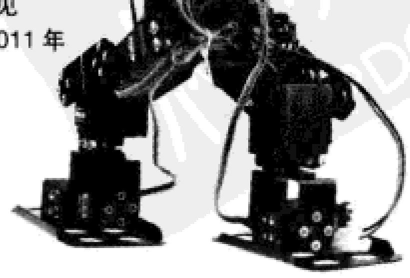
使用方法详见《无线电》2011 年第 4 期杂志

双足机器人套件
全套1344元+15元（邮费）

不含舵机、电池590元/套＋15元（邮费）

特点：人型铝合金机器腿支架，表面拉丝黑色氧化工艺处理，美观耐用，防止长时间使用脱色，脚板及所有支架菱角都倒圆角，边缘光滑不伤手，足背打孔减轻重量，可完成机器人仿人行走。本套件包含 6 个舵机支架、2 个 L 支架、6 个 U 型支架、6 个杯士轴承等，不但可以组装人型机器腿，还可以组装多自由度云台、多自由度机械手等各种造型。

制作方法详见
《无线电》2011 年
第 6 期杂志



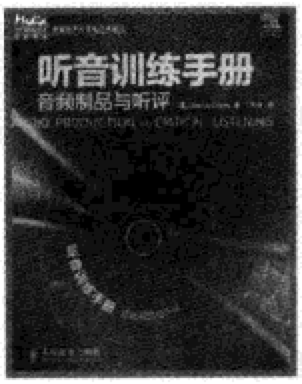
本页套件不仅适合爱好者自制，还非常适合各类学校电子实验室的师生作为制作项目用。欢迎各校师生团购，咨询热线：010-67134361。

Media TECHNOLOGY 传媒典藏

倾听大师的声音

音频技术与录音艺术

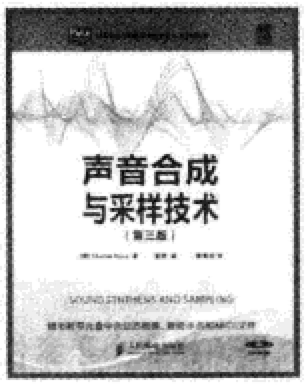
978-7-115-24509-0



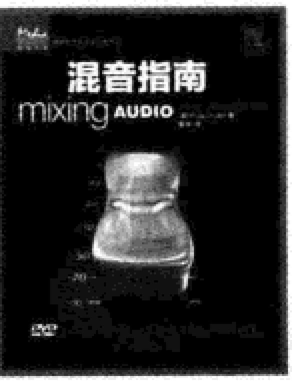
978-7-115-24736-0

978-7-115-24734-6

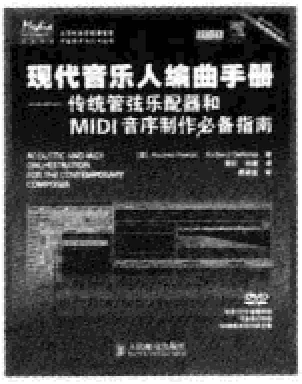
978-7-115-24745-2



978-7-115-24075-0



978-7-115-23861-0



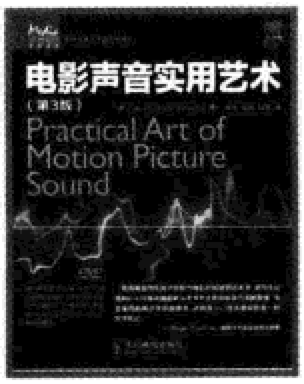
978-7-115-22919-9

978-7-115-22925-0

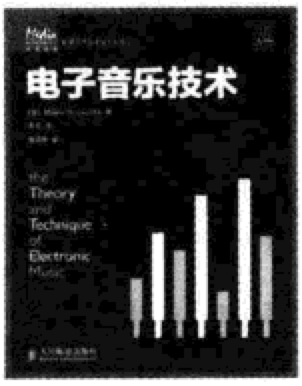
978-7-115-23819-1

978-7-115-21718-9

978-7-115-23255-7



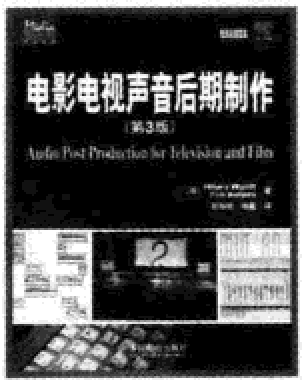
978-7-115-25367-5



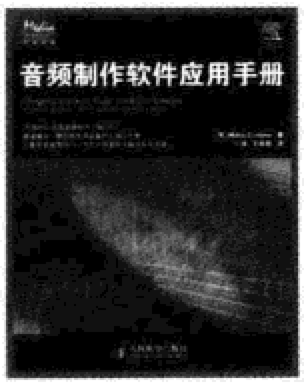
978-7-115-25697-3

高保真音响
www.hi-fi.com.cn

978-7-115-21641-0



978-7-115-21935-0



978-7-115-20920-7

网上购买

卓越亚马逊网上书店：http://www.amazon.cn
当当网上书店：http://book.dangdang.com
互动出版网：http://www.china-pub.com
邮科图书专营店：http://youkets.tmall.com

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市东城区夕照寺街 14 号 A 座
邮编：100061
咨询电话：010-67132837
邮购热线：010-67129212 67129213